

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет
Інформаційно-вимірювальних технологій**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

Володимир ЄРЕМЕНКО

«___» червня 2020р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Метрологія та вимірювальна
техніка»**

спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

**на тему: «Віртуальний тренажер для вивчення ефекту накладання
спектрів»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи ВМ-61-1

Мошкун Мар'яна Ігорівна _____

Керівник:

Доцент, к.т.н., доцент Синиця Валентин Іванович _____

Рецензент:

Доцент, к.т.н., доцент Стаценко Олексій Володимирович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студентка _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Інформаційно-вимірювальних технологій

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

Освітньо-професійна програма «Метрологія та вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Володимир ЄРЕМЕНКО

«___» червня 2020р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Мошкун Мар'яна Ігорівна

1. Тема роботи «Віртуальний тренажер для вивчення ефекту накладання спектрів», керівник роботи к.т.н., доц. Синиця Валентин Іванович, затверджені наказом по університету від «___»_____ 20__ р. №_____

2. Термін подання студентом роботи 09.06.2020 р. _____

3. Вихідні дані до роботи

віртуальний тренажер призначений для забезпечення вивчення ефекту накладання спектрів з використанням алгоритму Фур'є і повинен забезпечити: а) діапазон частот від 0 до 100Гц ; діапазон вхідного сигналу від 0 до 10В; діапазон частоти дискретизації від 0 до 100кГц б) керування параметрами цифрового алгоритму; встановлення і керування контрольного (тестового) сигналу; візуалізацію окремих етапів виконання алгоритму; в) середовище проектування - LabView v. 11.

4. Зміст роботи ТЗ. Вступ. Огляд і аналіз існуючих технічних рішень. Розробка структури та програмного компоненту. Проект методичних вказівок до виконання лабораторної роботи: «ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТУ НАКЛАДАННЯ СПЕКТРІВ». Обробка результатів експериментального дослідження.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) Блок-діаграма (1л). Панель інтерфейсу користувача (1л). Структура роботи програми (1л). Експериментальне дослідження алгоритму (1л).

6. Дата видачі завдання 20.02.2020 р _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розробка та узгодження технічного завдання	22.02.2020 р.	
2	Огляд і аналіз існуючих технічних рішень	05.03.2020 р.	
3	Розробка макету тренажера	13.03.2020 р.	
4	Вибір тестових варіантів вихідних даних	02.04.2020 р.	
5	Дослідження сигналу у середовищі MatLab	14.04.2020 р.	
6	Розробка лабораторної роботи та методичних вказівок до її виконання	14.05.2020 р.	
7	Оформлення графічних матеріалів	01.06.2020 р.	
8	Оформлення пояснювальної записки	01.06.2020 р.	
9	Попередній захист дипломного проекту	09.06.2020 р.	
10	Рецензування дипломного проекту	до 14.06.2020 р.	
11	Захист дипломного проекту	до 20.06.2020 р.	

Студент

Мар'яна МОШКУН

Керівник

Валентин СИНИЦЯ

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків. Загальний об'єм пояснювальної записки становить 66 сторінок, 46 рисунків та 6 таблиць.

В ході виконання дипломного проекту був розроблений віртуальний тренажер для дослідження характеристик сигналу та вивчення ефекту накладання спектрів.

Для розробки віртуального тренажеру для дослідження ефекту накладання спектрів використано графічний редактор LabVIEW, який наочно показує дискретне перетворення Фур'є сигналу та наочно показує ефект накладання спектрів.

Для створення програмно-методичного комплексу були вирішені наступні завдання:

1. Розроблено віртуальний інструмент.
2. Розроблено методичне забезпечення створеного віртуального інструменту.
3. Проведено перевірку адекватності та працездатності розробленого віртуального інструменту шляхом моделювання обраних алгоритмів програмними засобами MatLab.

ABSTRACT

Thesis consists of an introduction, four sections, conclusions. The total length of the explanatory note is 66 pages, 46 figures and 6 tables.

During the diploma project a virtual simulator was developed to study the characteristics of the signal and study the effect of overlapping spectra.

To develop a virtual simulator to study the effect of spectral overlap, we used a graphical editor LabVIEW, which clearly shows the discrete Fourier transform of the signal and clearly shows the effect of spectral overlap.

The following tasks were solved to create a program-methodical complex:

1. Developed a virtual tool.
2. Methodical support of the created virtual is developed tool.
3. The adequacy and efficiency of the developed virtual tool was checked by modeling the selected algorithms by MatLab software.

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет
Інформаційно-вимірювальних технологій**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Володимир ЄРЕМЕНКО

" ____ " червня 2020 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу

«Віртуальний тренажер для вивчення ефекту накладання спектрів»

ВМ61.050004.001ТЗ

УЗГОДЖЕНО:

Керівник дипломної роботи:

к.т.н., доц. Синиця В. І.

" ____ " _____ 2020 р.

Дипломник:

студентка групи ВМ-61-1

Мошкун М. І.

" ____ " _____ 2020 р.

Залікова книжка _____

Київ – 2020 року

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ

Розроблений віртуальний тренажер для вивчення ефекта накладання спектрів, призначений для дослідження характеристик сигналу.

2 ПІДСТАВИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОЗРОБКИ

Підставою для розробки є завдання на дипломний проект, видане і затверджене кафедрою інформаційно-вимірювальних технологій Національного Технічного Університету України «КПІ імені Ігоря Сікорського» у лютому 2020 р.

3 МЕТА РОЗРОБКИ

Вивчення і дослідження характеристик одновимірного перетворення Фур'є – ефект накладення спектрів при дискретизації сигналу. Набуття досвіду вимірювання спектральних параметрів гармонійних сигналів за допомогою ДПФ. Отримання інформації про характеристики і пристрою цифрових аналізаторів спектру.

4 ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

Джерелами розробки є:

1. державні та галузеві стандарти;
2. науково-технічна література по проектуванню електронного обладнання;
3. матеріали з інтернету.

5 ВИХІДНІ ДАНІ

Віртуальний тренажер призначений для забезпечення вивчення ефекту накладання спектрів з використанням алгоритму Фур'є і повинен забезпечити:

- діапазон частот від 0 до 100Гц; діапазон вхідного сигналу від 0 до 10В; діапазон частоти дискретизації від 0 до 100кГц

- керування параметрами цифрового алгоритму; встановлення і керування контрольним (тестовим) сигналу; візуалізацію окремих етапів виконання алгоритму;
- середовище проектування - LabView v.11.

6 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

Вимоги, що визначають експлуатаційні характеристики, показники якості та метрологічні характеристики.

1. Технічні характеристики, метрологічні характеристики і показники якості.
2. Система повинна зчитувати введені оператором вхідні дані.
3. Система повинна виконувати обробку отриманих даних.
4. Система повинна показувати:
 - вхідний сигнал;
 - спектр сигналу;
 - дискретне перетворення Фур'є сигналу;
 - обернене дискретне перетворення Фур'є сигналу;
 - відновлений сигнал;
 - різницю вхідного і відновленого сигналів;
 - спектр різниці вхідного і відновленого сигналів.

7 ЕТАПИ РОЗРОБКИ

Етапи розробки, оформлення та узгодження дипломного проекту наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Етапи розробки дипломного проекту

№ п/п	Найменування етапу	Дата
1	Розробка та узгодження технічного завдання	22.02.2020 р.
2	Огляд і аналіз існуючих технічних рішень	05.03.2020 р.
3	Розробка макету тренажера	13.03.2020 р.

4	Вибір тестових варіантів вихідних даних	02.04.2020 р.
5	Дослідження сигналу у середовищі MatLab	14.04.2020 р.
6	Розробка лабораторної роботи та методичних вказівок до її виконання	14.05.2020 р.
7	Оформлення графічних матеріалів	01.06.2020 р.
8	Оформлення пояснювальної записки	01.06.2020 р.
9	Попередній захист дипломного проекту	09.06.2020 р.
10	Рецензування дипломного проекту	до 14.06.2020 р.
11	Захист дипломного проекту	до 20.06.2020 р.

Всі ГОСТи, що використовуються в даному ТЗ на ДП, є чинними на території України.

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

на тему:

Віртуальний тренажер для вивчення ефекту накладання спектрів

Київ – 2020 року

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ.....	6
1.1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	6
1.2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	9
1.2.1 Огляд і аналіз середовища програмування MatLab.....	9
1.2.2 Огляд і аналіз середовища програмування LabView.....	11
1.3 ПРИНЦИПИ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ.....	14
1.4 ВІДМІННОСТІ МІЖ ЧАСОВОЮ І ЧАСТОТНОЮ ОБЛАСТЮ.....	16
1.5 ДИСКРЕТНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є.....	17
1.5.1 Періодична дискретизація.....	19
1.5.2 Дискретизація з дуже високою частотою	20
1.5.3 Дискретизація з частотою Найквіста.....	21
1.5.4 Дискретизація з частотою нижча за частоту Найквіста.....	21
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ТА ПРОГРАМНОГО КОМПОНЕНТУ.....	26
2.1 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ПРОГРАМНОГО КОМПОНЕНТУ.....	26
2.2 РОЗРОБКА ОКРЕМИХ МОДУЛІВ ПРОГРАМИ.....	27
2.2.1. Розробка інтерфейсу користувача.....	28
2.2.2 Розробка блок-схеми програми.....	30
2.3 РОЗРОБКА МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ІНСТРУКЦІЇ ПО ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПРОГРАМНОГО КОМПОНЕНТА.....	34
3 ПРОЕКТ МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ: «ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТУ НАКЛАДАННЯ СПЕКТРІВ»	35
3.1 ОПИС ВІРТУАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ.....	35
3.1.1 Технічний опис і інструкція з експлуатації.....	35
3.1.2 Підготовка віртуального стенду і віртуальних засобів вимірювальної техніки до роботи:	36
3.2 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ДОСЛІДУ:	38

					BM61.050004.001 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			
Розроб.	Мошкун М.І.				Віртуальний тренажер для вивчення ефекту накладання спектрів Пояснювальна записка		
Перевір.	Синиця В.І.						
Н. контр.	Щербань А.П.						
Затв.	Єременко В.С.						
						Літ.	Аркуш
						О	І
						КПІ ім Ігоря Сікорського	
						каф.ІВТ, гр. BM61-1	

3.3 ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОМАШНЬОГО ВИКОНАННЯ.....	38
3.3.1 Методичні вказівки до виконання домашнього завдання.....	39
3.3.2 Звіт про проведену роботу з виконання домашнього завдання до лабораторної роботи «Дослідження ефекту накладання спектрів»	46
3.4 ЗАВДАННЯ ДЛЯ ПРАКТИЧНОГО ВИКОНАННЯ.....	46
4 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ....	50
ВИСНОВОК.....	66
ЛІТЕРАТУРА.....	67

					ВМ61.050004.001 ПЗ	Арк.
						2
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У зв'язку з бурхливим розвитком технологій, включаючи різке збільшення за останні роки продуктивності напівпровідникових приладів і зменшення їх розмірів, повсюдним впровадженням комп'ютерів і мікропроцесорів, розвитком стандартів зв'язку та мережових технологій, інженери змушені в рівній мірі збільшувати складність процесів розробки, виробництва і тестування нових продуктів. Важливим компонентом таких процесів стало їх моделювання. При цьому вже близько 30 років інженери і вчені використовують середовище графічного програмування National Instruments LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) для моделювання і створення автоматизованих систем збору даних і управління приладами. Весь цей час середовище LabVIEW постійно вдосконалюється - завдяки регулярному виходу нових версій, а також випуску спеціалізованих модулів, бібліотек і доповнень. Фактично, воно стала стандартом в ряді областей науки і техніки. Завдяки своїм ідеям використання розподіленого інтелекту, LabVIEW дозволило інженерам, які не мають досвіду в традиційному програмуванні, швидко створювати складні моделі систем вимірювання і управління та переносити їх в практику. У своєму розвитку середовище надало користувачам широку гаму інструментів, які утворюють графічну платформу програмного забезпечення для моделювання, управління та тестування, що забезпечує користувачам конкурентні переваги в трьох своїх базових областях застосування:

1. автоматизованих системах виміру і тестування;
2. промислових системах контролю і управління;
3. проектуванні та налагодженні вбудованих систем.

У той же час графічна платформа LabVIEW збільшує продуктивність інженерів та вчених. Поєднання інтуїтивно зрозумілої графічної мови програмування, підтримка широкого спектру пристроїв введення / виводу та зростаюча спільнота користувачів, які беруть участь у розробці платформи LabVIEW, дозволяють створювати абсолютно нові програми.

					BM61.050004.001	Арк.
						1
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Використовуючи відкрите програмне середовище LabVIEW для реалізації розроблених алгоритмів та обміну даними з інструментами моделювання, можна модернізувати інструменти розробки та зменшити витрати часу на всіх етапах життєвого циклу продукту.

Платформа LabVIEW призначена для розробки програмного забезпечення для моделювання окремих реальних фізичних об'єктів і створення інформаційно-вимірювальних систем і систем автоматизованого і автоматичного управління. Перевагою LabVIEW над текстовими мовами, таких як C, Java і ін., де програми складаються у вигляді рядків тексту, є те, що в LabVIEW програми створюються у вигляді графічних діаграм, в легкості сприйняття алгоритму програмістом. Широкий спектр обладнання, що поставляється National Instruments, дозволяє на основі платформи LabVIEW створювати в короткі терміни різну електронну апаратуру з широкими функціональними можливостями. Даний інструмент дозволяє дослідити ефект накладання спектрів.

Аліасинг, ефект накладення - ефект, який призводить до накладання, непомітності різних безперервних сигналів при їх дискретизації. Аліасинг є однією з головних проблем при аналого-цифровому перетворенні відео- і аудіосигналів. Неправильна дискретизація аналогового сигналу призводить до того, що високочастотні його складові накладаються на низькочастотні, в результаті чого відновлення сигналу в часі призводить до його викривлення. Для запобігання цього ефекту частота дискретизації повинна бути досить високою і сигнал повинен бути належним чином відфільтрований перед оцифруванням. Алгоритм, який забезпечує перетворення вибірки сигналу з області часу в область частот, є дискретним перетворенням Фур'є (ДПФ). Необхідно відзначити, що ДПФ за замовчуванням вихідний обмежений в часі сигнал перетворює в періодичний з періодом, рівним часу отримання вибірки. Фактично вихідний сигнал представляється у вигляді ряду Фур'є: набору гармонік з частотами, кратними частоті першої гармоніки, і

					BM61.050004.001	Арк.
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		2

амплітудами, обумовленими за допомогою перетворення Фур'є вихідного сигналу в межах його періоду.

У графічному редакторі LabVIEW можливо розробити методом імітаційного моделювання віртуальний інструмент для аналізу сигналу, який наочно показує дискретне перетворення Фур'є сигналу і частоту дискретизації, за якої виникає ефект накладання спектрів, а створений комплекс для дослідження може бути застосований у навчальному процесі студентів. Лабораторні заняття є одним з видів самостійної практичної роботи студентів, в якій шляхом проведення експериментів здійснюється поглиблення і закріплення теоретичних знань в інтересах професійної підготовки.

					BM61.050004.001	Арк.
						3
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

1.1 Загальні відомості

У XVIII столітті у теорії математики з'явилося поняття функції як певної залежності будь-якої величини "у" від іншої величини - незалежної змінної "х" з математичним позначенням такої залежності у вигляді $y(x)$. Математика функцій незабаром стала базовою основою теорії всіх природничих і технічних наук. Функціональна математика набула особливого значення в аудіо-, відео- та комунікаційній технології, де часові функції форми $S(t)$, $V(f)$ тощо, які використовувались для опису процесу передачі інформації, стали називати сигналами. У технічних галузях знань термін "сигнал" (сигнал, від лат. Signum - знак) часто використовується в широкому розумінні, не дотримуючись суворої термінології. Цей термін використовується в різних значеннях. Наприклад, він може бути використаний при розумінні технічного засобу передачі, перетворення та використання інформації - електричного, магнітного, оптичного сигналу; або для опису фізичного процесу, який є матеріальним втіленням інформаційного повідомлення - зміни будь-якого параметра носія (напруги, частоти, потужності електромагнітних коливань, інтенсивності світла тощо) у часі, просторі або залежно від зміни значень Будь-яких інших аргументів (незалежних змінних); або в розумінні сенсу конкретного фізичного стану або процесу, наприклад сигналів світлофора, звукових попереджувальних сигналів тощо. Усі ці поняття об'єднані кінцевою метою сигналів. У цьому сенсі сигнали являють собою певну інформацію, повідомлення, інформацію про будь-які процеси, стани або фізичні кількості предметів матеріального світу, виражену у формі, зручній для передачі, обробки, зберігання та використання цієї інформації. Термін "сигнал" дуже часто ототожнюється з термінами "дані" або "інформація". Дійсно, ці поняття взаємозалежні і не існують один без одного, але відносяться до різних категорій. Поняття інформації має багато визначень, від найширшого (інформація -

					BM61.050004.001	Арк.
						4
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

формалізоване відображення реального світу) до практичного (інформація та дані, які є об'єктом зберігання, передачі, перетворення, сприйняття та управління). У наш час світова наука все більше схиляється до думки, що інформація, поряд з матерією та енергією, належить до основних філософських категорій науки і є однією із властивостей об'єктивного світу, хоча і мало специфічною. Що стосується "даних", то це сукупність фактів, результатів спостережень, вимірювань будь-яких предметів, явищ чи процесів матеріального світу, які подаються у формалізованій формі - кількісні чи якісні. Це не сама інформація, а лише атрибут інформації - сировина для отримання інформації шляхом відповідної обробки та інтерпретації (інтерпретації). Термін "сигнал" у світовій практиці поширений для опису форми подання даних, яка є результатом певних вимірювань параметрів об'єкта дослідження у вигляді послідовності скалярних значень (аналогових, числових, графічних) залежно від змін будь-яких змінних значень (енергія, температура, просторові координати тощо). Зважаючи на це, надалі термін "сигнал" у вузькому розумінні цього слова буде позначати певним чином впорядковане відображення зміни фізичного стану будь-якого об'єкта - матеріального носія сигналу, певних даних про характер зміни у просторі чи часі. І оскільки дані містять інформацію про основні цільові параметри об'єкта дослідження, а також про різні супутні фактори та різні перешкоди, у широкому сенсі цього слова можна вважати, що сигнал є носієм загальної вимірювальної інформації. Слід зазначити, що матеріальна форма носіїв сигналу (механічна, електрична, магнітна, акустична, оптична та будь-яка інша), а також форма відображення в певних фізичних параметрах не грає ніякої ролі. Інформаційним параметром сигналу може бути будь-який параметр носія сигналу, функціонально пов'язаний зі значеннями інформаційних даних. Сигнал у загальному розумінні - це залежність однієї величини від іншої й з математичної точки зору являє собою функцію.

					BM61.050004.001	Арк.
						5
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

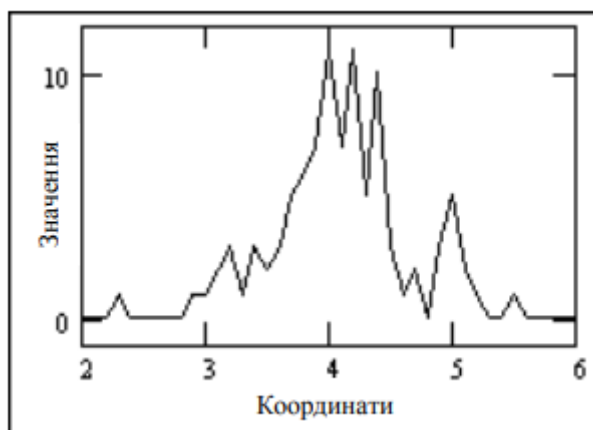


Рис. 1.1 – Сигнал як функція

Найбільш поширеним є подання сигналів в електричній формі у вигляді залежності напруги від часу $U(t)$. Сигнал - це інформаційна функція, що несе повідомлення про фізичні властивості, стан або поведження якої-небудь фізичної системи, об'єкта або середовища, а метою обробки сигналів можна вважати отримання певних інформаційних відомостей, що відображені в цих сигналах (коротко - корисна або цільова інформація) й перетворення цих відомостей у форму, зручну для сприйняття й подальшого використання. Коли говорять про "аналіз" сигналів, то йдеться не лише про суто математичні перетворення, але й про одержання на основі цих перетворень висновків стосовно специфічних особливостей відповідних процесів та об'єктів. Метою аналізу сигналів зазвичай є: - визначення або оцінка числових параметрів сигналів (енергія, середня потужність, середньо квадратичне значення та ін.); - розкладання сигналів на елементарні складові для порівняння властивостей різних сигналів; - порівняння ступеня близькості, "подібності", "спорідненості" різних сигналів, у тому числі з певними кількісними оцінками. [1]

Математичний апарат аналізу сигналів досить великий і широко застосовується на практиці в усіх без винятку галузях науки й техніки.

1.2 Характеристики програмного забезпечення

1.2.1 Огляд і аналіз середовища програмування MatLab

MATLAB - це високорівнева мова технічних розрахунків, інтерактивне середовище розробки алгоритмів і сучасний інструмент аналізу даних. MATLAB в порівнянні з традиційними мовами програмування (C / C ++, Java, Pascal, FORTRAN) дозволяє на порядок скоротити час вирішення типових завдань і значно спрощує розробку нових алгоритмів.

При цьому особлива увага приділялась як підвищенню швидкості обчислень, так і адаптації системи до рішення найрізноманітніших задач користувачів.

Математика і обчислювальні системи MATLAB надає користувачеві велику кількість (кілька сотень) функцій аналізу даних, які охоплюють майже всі області математики, зокрема: матриці та лінійна алгебра - матрична алгебра, лінійні рівняння, власні значення і вектори. Основні моменти та інтерполяція - коріння поліномів, операції над поліномами та їх диференціація, інтерполяція та екстраполяція кривих та ін.

Візуалізація даних

Пакет MATLAB містить велику кількість функцій для побудови графіків, включаючи тривимірний, візуальний аналіз даних і створення анімованих кліпів. Вбудована середовище розробки дозволяє створювати графічні інтерфейси користувача з різними елементами керування, такими як кнопки, поля введення та багато іншого. Завдяки компілятору MATLAB ці графічні інтерфейси можуть бути перетворені в окремі програми.

Розробка алгоритмів

MATLAB забезпечують зручні інструменти для розробки алгоритмів, у тому числі високого рівня, з використанням об'єктно-орієнтованих концепцій програмування. Він має всі необхідні інструменти для інтегрованого середовища розробки, включаючи зневаджувач. Функції для роботи з цілими типами даних полегшують створення алгоритмів мікроконтролерів та інших програм, де це необхідно.

					BM61.050004.001	Арк.
						7
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Зовнішні інтерфейси

Пакет MATLAB включає різні інтерфейси для отримання доступу до зовнішніх підпрограм, написаних на інших мовах програмування, даним, клієнтам і серверів, що спілкуються через технології Component Object Model або Dynamic Data Exchange, а також периферійних пристроїв, які взаємодіють безпосередньо з MATLAB. Багато хто з цих можливостей відомі під назвою MATLAB API.

Ключові особливості MATLAB:

- платформонезалежна високорівнева мова програмування орієнтована на матричні обчислення і розробки алгоритмів;
- інтерактивне середовище для розробки коду, управління файлами та даними;
- включає у себе функції лінійної алгебри, статистики, аналіз Фур'є, рішення диференціальних рівнянь та ін.
- має засоби візуалізації, 2-D и 3-D графіка.
- має вбудовані засоби розробки інтерфейсу користувача для створення закінчених Додатків.
- включає засоби інтеграції з C / C ++, спадкування коду, ActiveX технології.

Simulink, програма, що супроводжує MATLAB, - це інтерактивна система для моделювання нелінійних динамічних систем. Вона являє собою середовище, кероване мишею, що дозволяє моделювати процес шляхом перетаскування блоків діаграм на екрані і маніпуляції ними. Simulink працює з лінійними, нелінійними, безперервними, дискретними, багатовимірними системами.

Blocksets - це доповнення до Simulink, що забезпечують бібліотеки блоків для спеціалізованих застосувань, таких як зв'язок, обробка сигналів, енергетичні системи.

					BM61.050004.001	Арк.
						8
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Real-Time Workshop - це програма, що дозволяє генерувати Сі-код з блоків діаграм і запускати їх на виконання на різних системах реального часу.

Програмування і розробка алгоритмів

Мова MATLAB має підтримку векторних і матричних операцій, яка необхідна для вирішення інженерних і наукових завдань, і призначена для швидкої розробки та запуску.

За допомогою мови MATLAB можна писати програми і алгоритми швидше, ніж на традиційних мовах програмування, тому що немає необхідності таких низькорівневих організаційних операцій як оголошення змінних, визначення типів і виділення пам'яті. В результаті один рядок MATLAB коду часто може замінити кілька рядків C / C ++ коду.

MATLAB має властивості традиційних мов програмування, включаючи управління потоками даних, обробку помилок і об'єктно-орієнтоване програмування (ООП). Можна використовувати основні типи даних, складні структури даних або визначати призначені для користувача типи.

1.2.2 Огляд і аналіз середовища програмування LabView

LabVIEW - це середовище розробки і платформа для виконання програм, створених на графічній мові програмування «G» фірми National Instruments (США). Перша версія LabVIEW була випущена в 1986 році для Apple Macintosh, в даний час існують версії для Unix, Linux, Mac OS і ін., а найбільш розвиненими і популярними є версії для Microsoft Windows.

LabVIEW використовується в системах збору та обробки даних, а також для управління технічними об'єктами і технологічними процесами. Ідеологічно LabVIEW дуже близька до SCADA-системам, але на відміну від них більшою мірою орієнтована на вирішення завдань не стільки в області АСУ ТП, скільки в області АСНІ.

Програма LabVIEW є віртуальним приладом і складається з двох частин:

					BM61.050004.001	Арк.
						9
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- блокової діаграми, яка описує логіку роботи віртуального приладу;
- лицьовій панелі, яка описує зовнішній інтерфейс віртуального приладу.

Віртуальні прилади можуть використовуватися в якості складових частин для побудови інших віртуальних приладів.

Лицьова панель віртуального приладу містить засоби введення-виведення: кнопки, перемикачі, світлодіоди, верньєри, шкали, інформаційні табло і т.ін. Вони використовуються людиною для управління віртуальним приладом, а також іншими віртуальними приладами для обміну даними. [2]

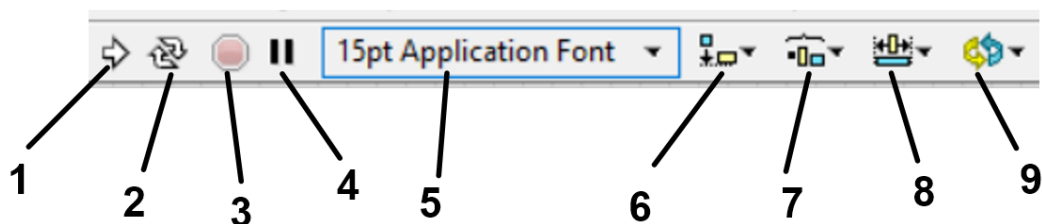


Рисунок 1.2 – Лінійка інструментів віртуального вікна

На лицьовій панелі знаходяться інструменти, які містять службові кнопки та індикатори стану, призначені для контролю віртуального інструменту (див. рисунок 1.2):

1. кнопка запуску програми на виконання, поки програма виконується, значок змінює свій зовнішній вигляд;
2. кнопка запуску програми на виконання в циклічному режимі, поки додаток виконується, значок змінює свій зовнішній вигляд;
3. коли додаток запущено, ця кнопка знаходиться в активному стані, використовується для припинення виконання програми;
4. кнопка "пауза" зупиняє виконання програми до подальшого натискання на цю ж кнопку;
5. меню редагування властивостей шрифту: тип, розмір, стиль і колір;
6. меню, що дозволяє здійснювати вирівнювання і позиціонування об'єктів, це такі опції, як вирівнювання обраних об'єктів по лівому краю, по правому;

7. меню, що містить команди просторового розподілу графічних об'єктів на передній панелі;
8. меню, що містить команди для зміни розмірів компонентів на передній панелі;
9. якщо ви встановлюєте об'єкт поверх іншого об'єкта, то нижній об'єкт може бути перекритий і недоступний, використання цього меню дозволяє розміщувати об'єкт поверх або під бажаним.

LabVIEW підтримує величезний спектр обладнання різних виробників і має в своєму складі (або дозволяє додавати до базового пакету) численні бібліотеки компонентів:

- для підключення зовнішнього обладнання по найбільш поширеним інтерфейсів і протоколів (RS-232, GPIB-488, TCP / IP та ін.);
- для віддаленого управління ходом експерименту;
- для керування роботами і системами машинного зору;
- для генерації і цифрової обробки сигналів;
- для застосування різноманітних математичних методів обробки даних;
- для візуалізації даних і результатів їх обробки (включаючи 3D-моделі);
- для моделювання складних систем;
- для зберігання інформації в базах даних і генерації звітів;
- для взаємодії з іншими додатками в рамках концепції COM / DCOM / OLE.

Спеціальний компонент LabVIEW Application Builder дозволяє створювати LabVIEW-програми, придатні для виконання на тих комп'ютерах, на яких не встановлена повна середовище розробки. Для роботи таких програм потрібно безкоштовно розповсюджуваний компонент «LabVIEW Runtime Engine» і, при необхідності, драйвери використовуваних зовнішніх пристроїв. [3]

					BM61.050004.001	Арк.
						11
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Принципи цифрової обробки сигналів

Цифрова обробка сигналів (ЦОС — англ. digital signal processing, DSP) — перетворення сигналів, представлених у цифровій формі.

Будь-який безперервний (аналоговий) сигнал $s(t)$ може бути підданий дискретизації по часу і квантуванню по рівню (оцифровуванню), тобто представлений в цифровій формі. Якщо частота дискретизації сигналу F_d не менше, ніж подвоєна найвища частота в спектрі сигналу F_{max} (тобто $F_d \geq 2F_{max}$), то отриманий дискретний сигнал $s(k)$ буде еквівалентним сигналу $s(t)$ за методом найменших квадратів (МНК).

За допомогою математичних алгоритмів $s(k)$ перетвориться в деякий інший сигнал $s_I(k)$, який має необхідні властивості. Процес перетворення сигналів називається фільтрацією, а пристрій, що виконує фільтрацію, називається фільтр. Оскільки значення сигналів надходять з постійною швидкістю F_d , фільтр повинен встигати обробляти поточний сигнал серії до надходження наступного (частіше — до надходження наступних n відліків, де n — затримка фільтра), тобто обробляти сигнал в реальному часі. Для обробки сигналів (фільтрації) в реальному часі застосовують спеціальні обчислювальні пристрої — цифрові сигнальні процесори. Це повністю стосується не тільки безперервних сигналів, але і переривчастих, а також до сигналів, записаних на пристрої зберігання інформації. В останньому випадку швидкість обробки не принципова, так як при повільній обробці дані не будуть втрачені.

Розрізняють методи обробки сигналів у часовій і в частотній області. Еквівалентність частотно-часових перетворень однозначно визначається через перетворення Фур'є.

Обробка сигналів у часовій області широко використовується в сучасній електронній осцилографії і в цифрових осцилографах. Для подання сигналів в частотній області використовуються цифрові аналізатори спектра. Для вивчення математичних аспектів обробки сигналів використовуються

					BM61.050004.001	Арк.
						12
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

пакети розширення (найчастіше під ім'ям Signal Processing) систем комп'ютерної математики MATLAB, Mathcad, Mathematica, Maple тощо.

В останні роки при обробці сигналів та зображень широко використовується новий математичний базис подання сигналів з допомогою «коротких сплесків» — вейвлетів. З його допомогою можуть оброблятися нестационарні сигнали, сигнали з розривами та іншими особливостями і сигнали у вигляді пачок. [4]

Основні застосування:

- Лінійна фільтрація — селекція сигналу в частотній області; синтез фільтрів, узгоджених з сигналами; частотне розділення каналів; цифрові перетворювачі Гільберта ($L^n(a, b)$) і диференціатор; коректори характеристик каналів.
- Спектральний аналіз — обробка мовних, звукових, сейсмічних, гідроакустичних сигналів; розпізнавання образів.
- Частотно-часовий аналіз — компресія зображень, гідро — і радіолокація, різноманітні завдання виявлення сигналу.
- Адаптивна фільтрація — обробка мови, зображень, розпізнавання образів, придушення шумів, адаптивні антенні решітки.
- Нелінійна обробка — обчислення кореляцій, медіанна фільтрація; синтез амплітудних, фазових, частотних детекторів, обробка мови, векторне кодування.
- Багатошвидкісна обробка — інтерполяція (збільшення) і децимація (зменшення) частоти дискретизації в багатошвидкісних системах телекомунікації, аудіосистемах.
- Отримання згорток.

1.4 Відмінності між часовою і частотною областю

Подання сигналу в області (domain) часу дає сукупність його миттєвих значень в інтервалі часу, протягом якого була отримана вибірка. Однак у

					BM61.050004.001	Арк.
						13
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

багатьох випадках необхідно знати гармонічні складові сигналу, а не значення одиничних відліків в вибірці.

Теорема Фур'є встановлює, що періодичний сигнал будь-якої форми в області часу може бути представлений сумою синусів і косинусів з частотами, які визначаються періодом аналізованого сигналу. Той же самий сигнал може бути представлений в області частот як пара: амплітуда і значення початкової фази для кожної гармонійної складової.

Можна синтезувати будь-яку форму сигналу, додаючи гармонічні складові, кожен зі специфічною амплітудою і початковою фазою. На рис. 1 показана оригінальна форма сигналу, позначеного як Sum, і його гармонічні складові. Частота основної (першої) гармонічної складової (гармоніки) дорівнює f_0 , друга гармоніка має частоту $2f_0$, і третя гармоніка - частоту $3f_0$.

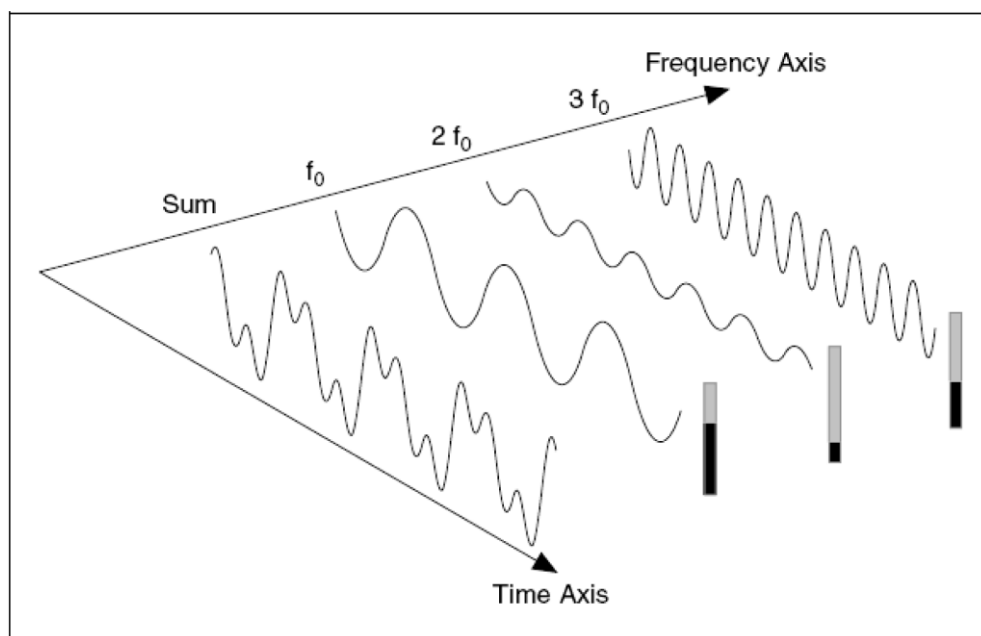


Рис. 1.3 – Сигнал, сформований складанням трьох гармонічних складових

У частотній області можна сформулювати концептуально гармонічні складові, які необхідно скласти, щоб синтезувати складний за формою сигнал в області часу. На рис. 1.3 представлені прості гармонічні складові, які є функціями часу і є окремими лініями в частотній області. Висота кожної лінії є амплітуда коливання в часі для цієї гармонічної складової. Подання сигналу

у вигляді індивідуальних гармонічних складових є його подання до частотної області, яке може дати більше уявлення про сигнал і систему, в якій він був згенерований.

Вибірки сигналу, отримані від DAQ-пристрої (data acquisition - процес отримання цифрових даних або від АЦП, або від роз'єму введення цифрових даних), складають уявлення сигналу в області часу. Деякі вимірювання, такі як оцінка гармонічних спотворень, є важкими для кількісних визначень на основі досліджень форми сигналу як функції часу на екрані осцилографа. Коли той же самий сигнал відображений в області частот за допомогою аналізатора БПФ (Analyzer FFT), також відомого як «динамічного аналізатор сигналу» (Dynamic Signal Analyzer), можна легко виміряти частоти і амплітуди гармонік і оцінити, наприклад, коефіцієнт нелінійних спотворень підсилювача. [5]

1.5 Дискретне перетворення Фур'є

Дискретне перетворення Фур'є (ДПФ, англ. Discrete Fourier Transform) — це математична процедура, що використовується для визначення гармонічного, або частотного, складу дискретних сигналів. Дискретне перетворення Фур'є є однією з найбільш розповсюджених і потужних процедур цифрової обробки сигналів. Дискретне перетворення Фур'є дозволяє аналізувати, перетворювати і синтезувати сигнали такими способами, які неможливі при неперервній (аналоговій) обробці. [6]

Дискретне перетворення Фур'є вимагає в якості входу дискретну функцію. Такі функції часто створюються шляхом дискретизації (вибірки значень з безперервних функцій). Дискретні перетворення Фур'є допомагають вирішувати диференціальні рівняння в приватних похідних і виконувати такі операції, як згортки. Дискретні перетворення Фур'є також активно використовуються в статистиці, при аналізі часових рядів.

Дискретне перетворення Фур'є є потужним інструментом для аналізу та виміру сигналів, яке дозволяє отримувати сигнали в тимчасовій області.

					BM61.050004.001	Арк.
						15
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірювати частотну структуру сигналу і перетворювати результати в реальному масштабі часу.

Дискретне перетворення Фур'є вимагає оцифровку безперервного сигналу, однак кінцівку інтервалу вибірки (тимчасове обмеження) і дискретизація безперервного сигналу приводять до несподіваних ефектів. [7]

Перетворення Фур'є (для сигналів з обмеженою енергією) використовується в методі дослідження сигналів в термінах області частот. Звичайні перетворення Фур'є - аналіз лінійних, інваріантних до часу систем і спектральний аналіз сигналів.

Наступне рівняння визначає двостороннє пряме перетворення Фур'є, результатом якого є знаходження спектральної щільності $X(f)$:

$$X(f) = F\{x(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt$$

Двостороннє зворотнє перетворення Фур'є визначається наступним виразом:

$$x(t) = F^{-1}\{X(f)\} = \int_{-\infty}^{\infty} X(f)e^{-j2\pi ft} df$$

Поняття «двосторонній» означає, що математична реалізація прямого і зворотного перетворень Фур'є використовує всі негативні і позитивні частоти і тривалість дії сигналу. У той же час поняття «односторонній» означає, що математична реалізація перетворення пов'язує тільки позитивні частоти і залежність миттєвих значень сигналу від часу. При цьому розрізняють фізичний (односторонній) і математичний (двосторонній) спектри.

Пара перетворень Фур'є полягає в поданні сигналу і в області частот, і в області часу. Наступне відношення зазвичай символічно означає пару перетворень Фур'є:

					BM61.050004.001	Арк.
						16
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x(t) \leftrightarrow X(f)$$

Алгоритм, який забезпечує перетворення вибірки сигналу з області часу в область частот, є дискретним перетворенням Фур'є (ДПФ). Необхідно відзначити, що ДПФ за замовчуванням вихідний обмежений в часі сигнал перетворює в періодичний з періодом, рівним часу отримання вибірки. Фактично вихідний сигнал представляється у вигляді ряду Фур'є: набору гармонік з частотами, кратними частоті першої гармоніки, і амплітудами, обумовленими за допомогою перетворення Фур'є вихідного сигналу в межах його періоду. ДПФ широко використовується в спектральному аналізі, медицині, при чисельному аналізі, в прикладній механіці, акустиці і т.д. На рис. 5.4 показаний результат використання ДПФ (DFT) для перетворення даних з області часу (Time Domain) в область частот (Frequency Domain).

Припустимо, що отримана вибірка сигналу з N одиничних вимірювань (відрахунків) від DAQ-пристрою. Якщо застосовується ДПФ до N одиничним вимірам, що представляє сигнал в області часу, результат перетворення також з- варто з N одиничних вимірювань (відліків), але інформація, яку вони містять, має представлення в області частот.

1.5.1 Періодична дискретизація

Приклад періодичної дискретизації показаний на другому графіку. В цьому випадку дані легко інтерпретувати, проте, ми знову пропущений момент падіння функції T2 і T3. Значить, періодична дискретизація сама по собі ще не гарантує збереження всіх важливих даних. До того ж, якщо з'єднати наявні відліки, то передбачувана крива буде вельми далекою від оригіналу.

Отже, при дискретизації ми можемо необоротно втратити дані, але якщо вибрати більшу кількість відліків, тобто збільшити частоту

					BM61.050004.001	Арк.
						17
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

дискретизації, (наприклад, додатково десять між T_2 і T_3), то можна уловити момент падіння функції.

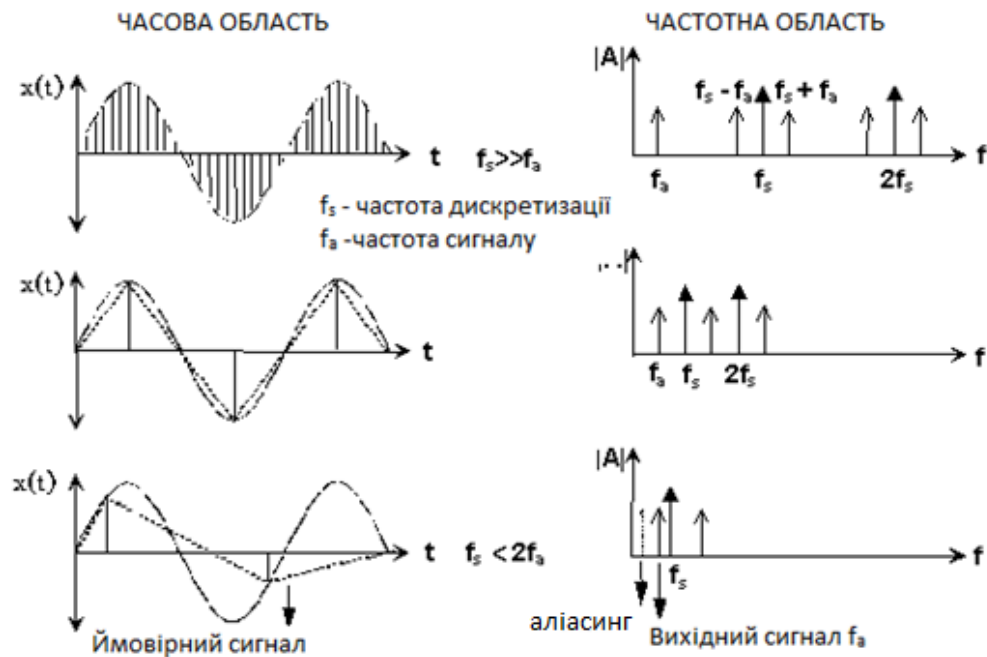


Рис. 1.4 – Графічна відмінність часової та частотної області

1.5.2 Дискретизація з дуже високою частотою

Дискретизуючи синусоїдальний сигнал з дуже високою частотою, що перевищує частоту сигналу, можна гарантувати, що інформація не буде пропущена, крім того, по відліках можна відновити сигнал, майже такий же, як оригінал. Це видно з верхнього графіка.

Якщо по відліках побудувати передбачуваний сигнал, то його форма буде дуже схожа на форму початкового сигналу.

В результаті дискретизації аналогового сигналу його спектр змінюється. Навколо частот, кратних частоті дискретизації, з'являються нові частоти: $f_s - f_a$, $f_s + f_a$, $2f_s - f_a$, $2f_s + f_a$ і т.д. Дискретизація подібна до модуляції.

1.5.3 Дискретизація з частотою Найквіста

Якщо зменшувати частоту дискретизації, то в тимчасовій області ми почали б брати все менше і менше відліків за період. У частотній області в

результаті дискретизації генерується новий сигнал на частоті $f_s - f_a$, яка у міру зменшення f_s розташовуватиметься все ближче і ближче до частоти початкового сигналу f_a . Дійсно, з графіка частотного спектру абсолютно ясно, що межа для f_s буде досягнута при $f_s = 2f_a$ і подальше зменшення f_s приведе до перекриття частот. Картина в тимчасовій області відповідатиме графіку випадку 2, де ми вибрали два відліки за період.

Крива передбачуваного сигналу, викреслена по відліках, хорошою апроксимацією сигналу.

1.5.4 Дискретизація з частотою нижча за частоту Найквіста

Подальше зменшення частоти дискретизації приведе до менш ніж двох відліків за період. Графік випадку 3 ілюструє цей ефект як в тимчасовій, так і в частотній областях. У тимчасовій області передбачуваний сигнал абсолютно не схожий на початковий. У частотній області поблизу частоти початкового сигналу з'явилася частота «паразитного» сигналу. Неможливо відновити початковий сигнал по його відліках. Цей ефект в цифровій обробці називається накладанням частот.

При частоті дискретизації нижче межі Найквіста ми не можемо відновити початковий сигнал отже, мінімальна частота дискретизації має бути більше найвищої частоти в спектрі сигналу. Ця частота називається частотою або межею Найквіста.

Хоча мінімальне допустиме значення частоти дискретизації названо на честь Найквіста «межею Найквіста», в більшості сучасних підручників по обробці сигналів дається зсилання на теорему відліків Шенона. Ця теорема встановлює, що для точного представлення аналогового сигналу мінімальна частота його дискретизації має бути рівна, або більше подвоєної верхньої частоти сигналу. Обидві теореми дискретизації (Найквіста і Шенона) встановлюють один і той же факт. Цей же факт встановлює і теорема Котельникова.

Явище аліасинга можна легко продемонструвати за допомогою графіків на яких показані приклади дискретизації з частотою Найквіста і нижче за цю частоту. На верхньому графіку крива передбачуваного сигналу, проведена через відліки і ілюструє помилкове відтворення дійсного вхідного сигналу.

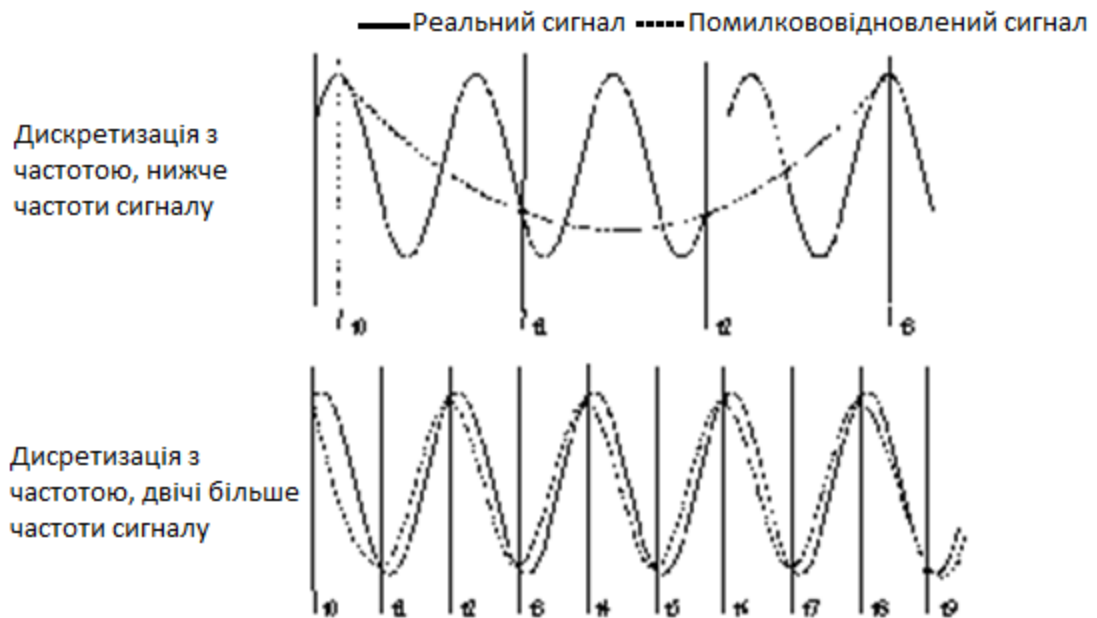


Рис. 1.5 – Приклад помилкового відтворення дійсного вхідного сигналу

Проблема аліасинга виникає і у тому випадку, коли дискретизують реальні сигнали, що містять безліч частотних складових. Якщо подібний сигнал дискретизувати з частотою, більшою його самою високочастотною складовою, можливо, буде потрібно надмірно високу частоту дискретизації. У той же час деякі високочастотні складові сигналу можуть виявитися незначними.

У спектрі, представленому на графіку, амплітуда знижується вельми істотно, починаючи з деякої частоти f_m . Для того, щоб не виникло аліасинга, потрібно буде дискретизувати сигнал з частотою, яка значно перевище $2f_m$.

Проте при дискретизації сигналу з частотою $f_s = 2f_m$ ці високочастотні складові приведуть до аліасинга. Якщо обмежити спектр вище певної частоти (f_m в нашому прикладі), проблеми аліасинга можуть бути вирішені. Після

цього можна упевнено встановлювати частоту дискретизації $f_s = 2f_m$, що виключає аліасинга у відновлюваному сигналі.

Обмеження спектру проводиться за допомогою фільтрації, яка гарантує, що в оброблюваному сигналі не буде високочастотних складових, які могли б привести до аліасинга.

Необхідно визначити зв'язок між спектром аналогового сигналу $X_a(j\Omega)$ і спектром дискретизованого сигналу $X(e^{j\omega})$.

$$x_a(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X_a(j\Omega) e^{j\Omega t} d\Omega$$

$$x(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} X(e^{j\omega}) e^{j\omega n} d\omega$$

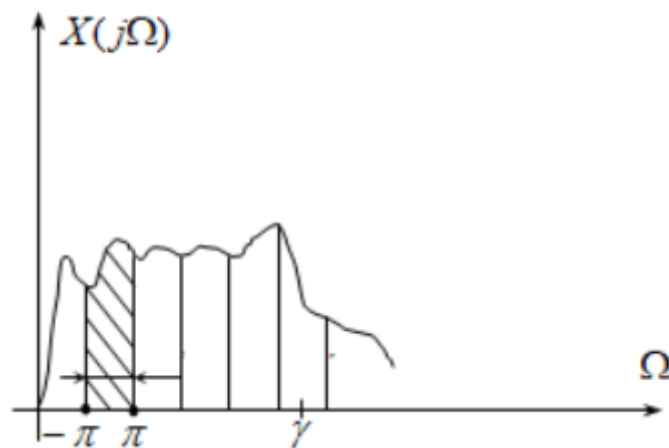


Рис. 1.6 – Зв'язок між спектром аналогового сигналу $X_a(j\Omega)$ і спектром дискретизованого сигналу $X(e^{j\omega})$

Припустимо, що послідовність $x(n)$ отримана із $x_a(nT)$ за допомогою дискретизації: $x(n) = x_a(nT)$

Для того, щоб зв'язати ці два вирази, необхідно перше з них представити у вигляді нескінченної суми інтегралів по інтервалах завдовжки 2π . Тоді 1-ий може бути записаний таким чином:

$$x_a(t) = \frac{1}{2\pi} \sum_{\gamma=-\infty}^{\infty} \int_{(2\gamma-1)\pi}^{(2\gamma+1)\pi} X(j\Omega) e^{j\Omega n T} d\Omega ,$$

$$x_a(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \left\{ \sum_{\gamma=-\infty}^{\infty} X_a[j\Omega + j2\pi\gamma] \right\} e^{j\Omega n} d\Omega$$

Вводячи підстановку $\Omega = \frac{\omega}{T}$, отримаємо

$$x_a(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \left\{ \frac{1}{T} \sum_{\gamma=-\infty}^{\infty} X_a[(j\omega) + j(2\pi\gamma)] \right\} e^{j\omega n} d\omega$$

Співвідношення між спектрами $x_a(t)$ і $x(n)$ виглядає так:

$$X(e^{j\omega}) = \frac{1}{T} \sum_{\gamma=-\infty}^{\infty} X_a[j\Omega + j2\pi\gamma]$$

Останній вираз описує «розмноження» спектру аналогового сигналу при дискретизації, тобто періодична спектральна функція послідовності складається з суми нескінченного числа спектральних компонент безперервного коливання $x_a(t)$.

Розглянемо, до яких наслідків може привести ефект “розмноження” спектрів дискретизованого сигналу.

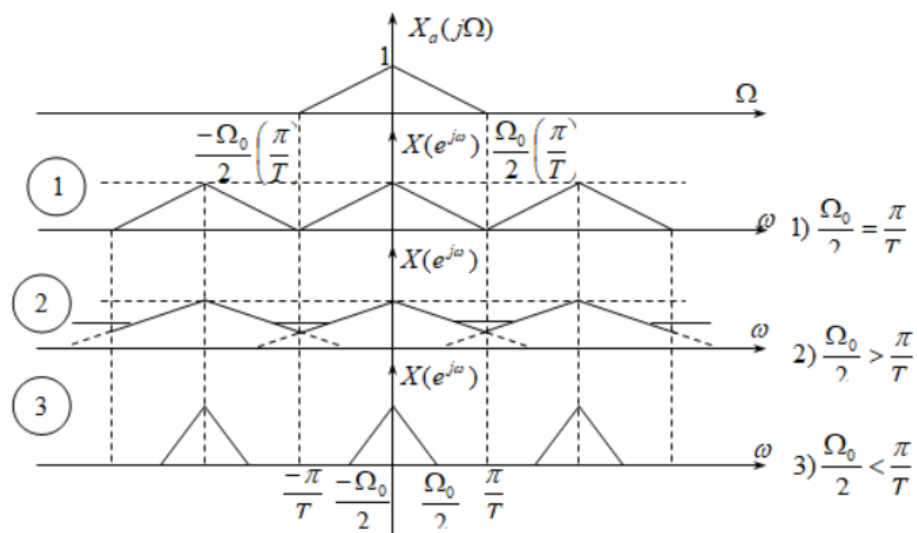


Рис. 1.7 – Ефект “розмноження” спектрів дискретизованого сигналу

Для позиції 2 частота дискретизації недостатньо висока і високочастотні складові аналогового спектру потрапляють в область нижчих частот. Такий зсув спектральних складових називається накладенням спектрів (аліасинг).

Висновки

В першому розділі було описано і проаналізовано наступні питання:

- Моделювання та імітаційне моделювання. Його зміст. Галузі застосування. Освітлена проблема, для якої створення відповідного програмного компоненту може бути корисна.
- Було розглянуто середовища програмування в яких буде створено програмно-методичний комплекс. Описані переваги та недоліки кожної з них. Це дозволить ефективно розподілити завдання для кожного з додатків програми.
- Було описано поведження сигналу при різній заданій частоті дискретизації, ефект накладання спектрів.
- На основі опрацьованої інформації було поставлено задачі для проведення дипломного проектування.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ТА ПРОГРАМНОГО КОМПОНЕНТУ

2.1 Розробка структури програмного компоненту

Керуюча програма включає в себе шість модулів: модуль генерації вхідного аналогового сигналу, модуль аналого-цифрового перетворювача, модуль дискретного перетворення Фур'є, модуль оберненого дискретного перетворення Фур'є, модуль генератора тактових імпульсів та модуль візуалізації розрахованих даних у вигляді графіків на осцилографі. Всі модулі взаємодіють між собою та мають графічне супроводження. Структура програми представлена на рисунку 2.1.

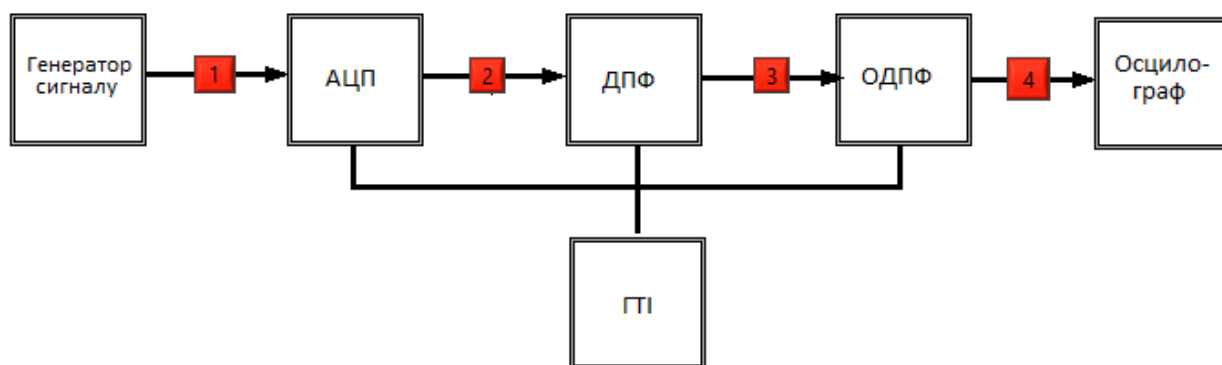


Рисунок 2.1 – Структура програми по дослідженню ефекту накладання спектрів

Модуль введення параметрів вхідного сигналу приймає на себе функцію взаємодії користувача з програмним компонентом через зовнішній інтерфейс. В залежності від введених даних, модуль резервує необхідну кількість пам'яті під масив, в який потім будуть збережені розраховані параметри вихідного сигналу.

Модуль аналого-цифрового перетворювача перетворює вхідний аналоговий сигнал в цифровий сигнал (дискретний код), який кількісно характеризує амплітуду сигналу. Відповідно до отриманих параметрів вихідного сигналу АЦП виконує перетворення фізичної величини сигналу в її числове представлення.

Модуль дискретного перетворення Фур'є перетворює отриманий цифровий сигнал в дискретний, тобто, ставить у відповідність кожній функції дійсної змінної $x(t)$ її спектр або Фур'є-образ $y(w)$ з заданою частотою дискретизації.

Модуль оберненого дискретного перетворення Фур'є перетворює отриманий спектр сигналу назад у цифровий сигнал і показує графік відновленого сигналу по його спектру. На основі отриманого результату користувач може оцінити правильність використаного значення частоти дискретизації.

Модуль генератора тактових імпульсів призначений для синхронізації сигналу, він виробляє імпульси заданої частоти, яка використовується як еталонна – рахуючи кількість імпульсів можна виміряти часові інтервали.

Модуль візуалізації отриманих та розрахованих даних зображує необхідні нам дані на екран у вигляді графіків на екрані осцилографа.

2.2 Розробка окремих модулів програми

Математична модель взагалі – це математичний опис якого-небудь процесу. Таким чином, правильність дії моделі і правильність отриманих з її допомогою висновків забезпечується настільки точно, наскільки вірно створена модель.

Провідну роль в процесі в створенні математичної моделі та програмно-методичного комплексу в цілому відіграє програмне забезпечення, оскільки саме програмне забезпечення визначає кінцеву якість, зручність і ефективність використання тієї чи іншої комп'ютерної вимірювальної системи.

В якості інструменту було використано програмне середовище LabVIEW, одним з основних переваг графічного програмування є те, що вихідний код дуже схожий на принципові схеми, тому це дуже проста мова для інженерів електроніки / електроніки. Це одна з причин того, що

					BM61.050004.001	Арк.
						25
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

LabVIEW став настільки популярний в області збору даних і автоматизації. Ще одна перевага - це швидкість розробки. Користувач збирає свій графічний інтерфейс з палітри доступних елементів управління на передній панелі. Також перевагою є повна сумісність з програмним середовищем MATLAB - найпотужнішою системою комп'ютерної математики.

2.2.1. Розробка інтерфейсу користувача

Створення програмного компоненту у середовищі LabView розпочинається зі створення інтерфейсу користувача.

Для економії місця на екрані і компактного розташування усіх вихідних даних було прийнято рішення розмістити дисплеї з графіками на десяти робочих вкладках. Перша вкладка це графік вхідного сигналу, який ми досліджуємо. Друга вкладка це графік сигналу на виході АЦП. Третя вкладка це графік спектру сигналу АЦП. Четверта вкладка це графік відліків оберненого ДПФ. П'ята вкладка це графік відновленого сигналу по відліках оберненого ДПФ. Шоста вкладка це графік спектру відновленого сигналу. Сьома вкладка це графік порівняння спектрів вхідного і відновленого сигналу. Восьма вкладка це графік порівняння вхідного і відновленого сигналу. Дев'ята вкладка це графік різниці вхідного та відновленого сигналу. Десята вкладка це графік спектру різниці вхідного та відновленого сигналу. Вигляд панелі представлено на рисунку 2.2.

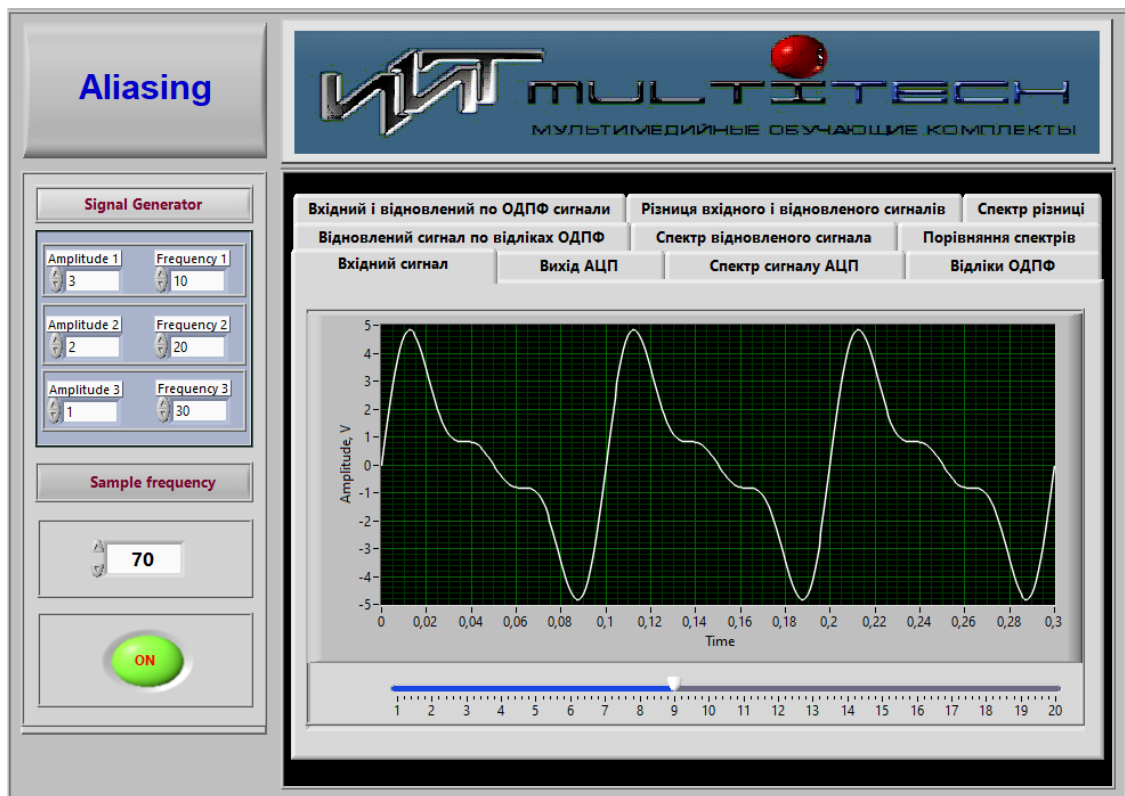


Рис. 2.2 – Панель інтерфейсу з вхідними даними.

В правій частині екрану знаходиться дисплей з графіками дослідження сигналу.

В лівій частині екрану знаходиться панель керування лабораторним стендом. За допомогою панелі керування здійснюється включення та вимкнення макету і введення параметрів вхідного сигналу: амплітуда та частота трьох гармонік сигналу та частота дискретизації.

Панель керування зображено на рисунку 2.3.

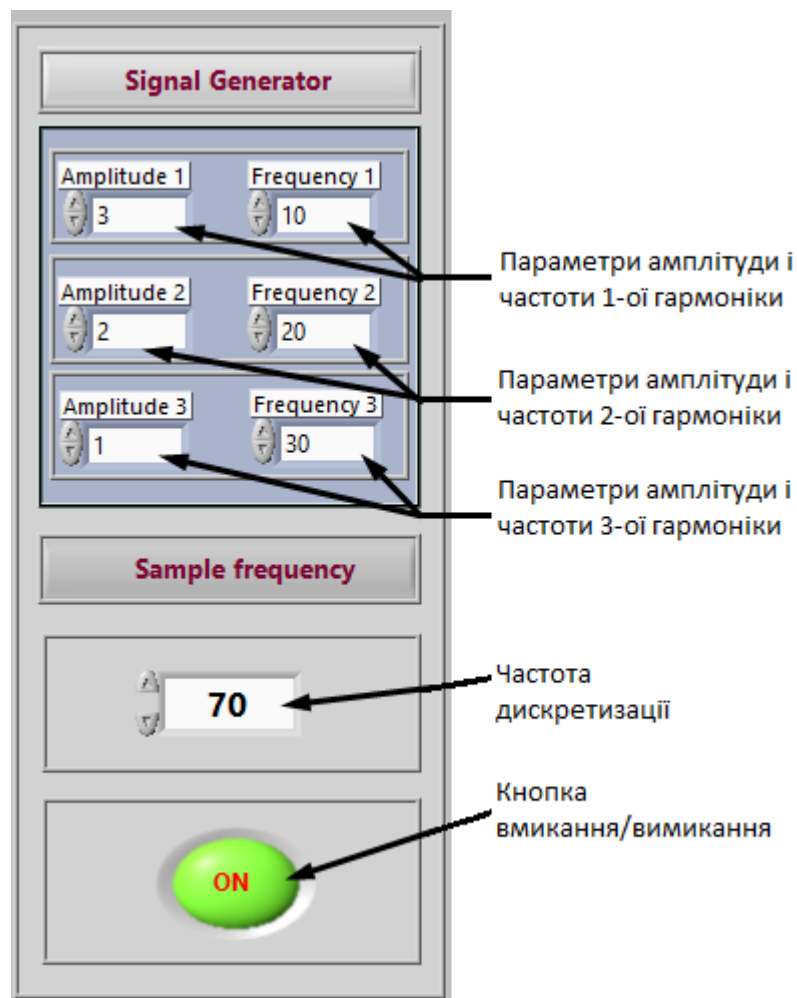


Рисунок 2.3 – Панель керування

2.2.2 Розробка блок-схеми програми

Покроково розробляємо блок-схему програми відповідно до сформованого інтерфейсу користувача. Загальний вид блок-схеми представлено на рисунку 2.4.

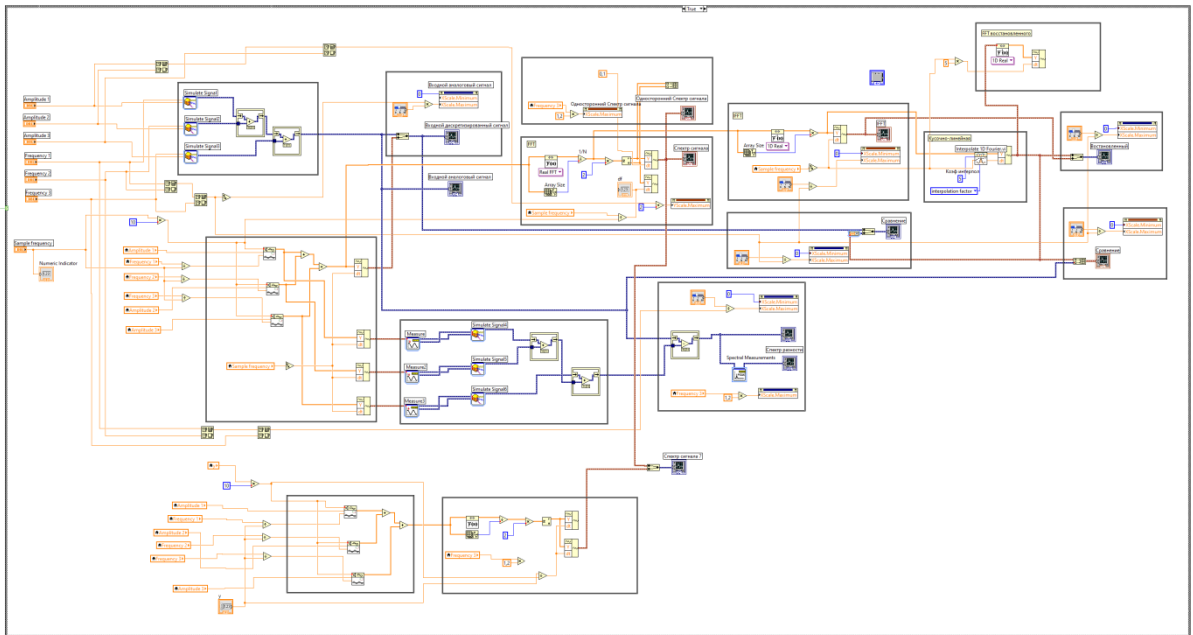


Рисунок 2.4 – Блок-схема програмного компоненту

Панель керування, через яку надходять вхідні дані, складається з суми трьох гармонійних складових, для яких користувач задає амплітуду і частоту, представлена на рисунку 2.5.

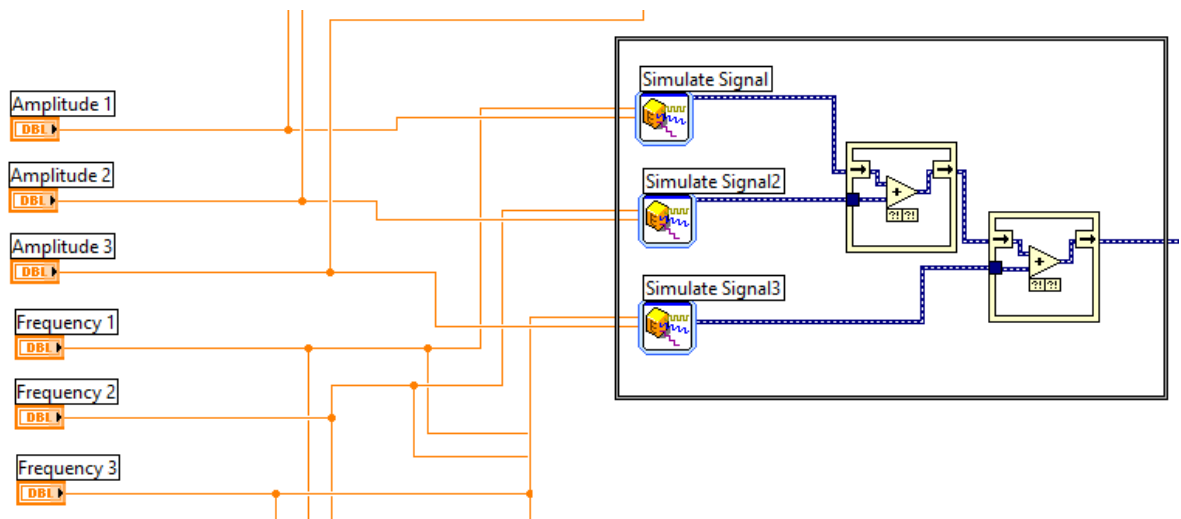


Рисунок 2.5 – Блок-схема панелі керування

Для відображення розрахованих даних у вигляді, який буде зручний для користувача, тобто, відображення графіків отриманих сигналів у окремих вкладках розроблено окремі блоки візуалізації для кожного завдання відповідно до назви вкладки.

Відповідно до заданих вхідних амплітуд і частот сигналу, а, також частоти дискретизації реалізація блоків візуалізації вхідного сигналу і сигналу на виході АЦП наведено на рисунку 2.6.

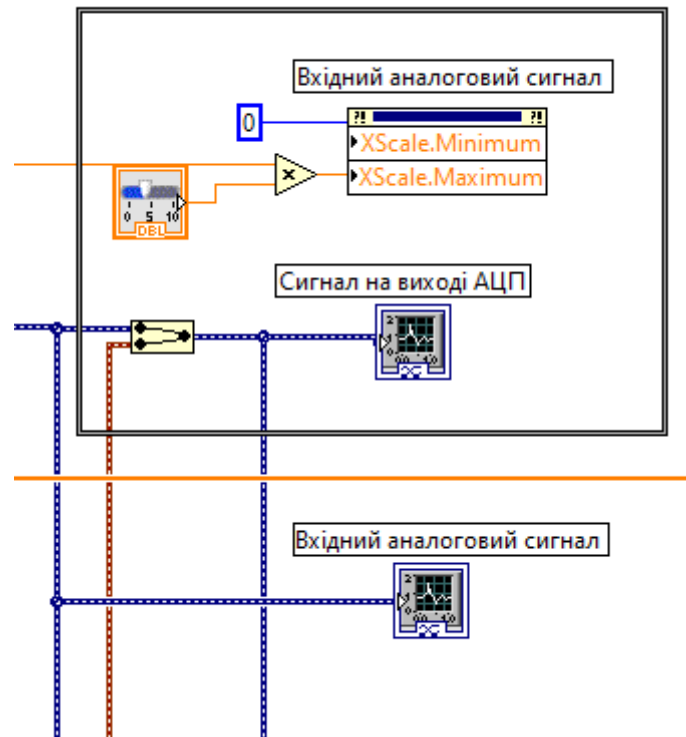


Рисунок 2.6 – Блоки візуалізації сигналу і сигналу на виході АЦП

Блок, що відповідає за реалізацію візуального представлення для користувача спектра сигналу наведено на рисунку 2.7. На вхід у цьому блоці ми подаємо цифровий сигнал і частоту, з якою цей сигнал буде дискретизовано алгоритмом дискретного перетворення Фур'є. Завдяки цьому користувач, по отриманому графіку на виході, оцінює коректність заданої частоти дискретизації.

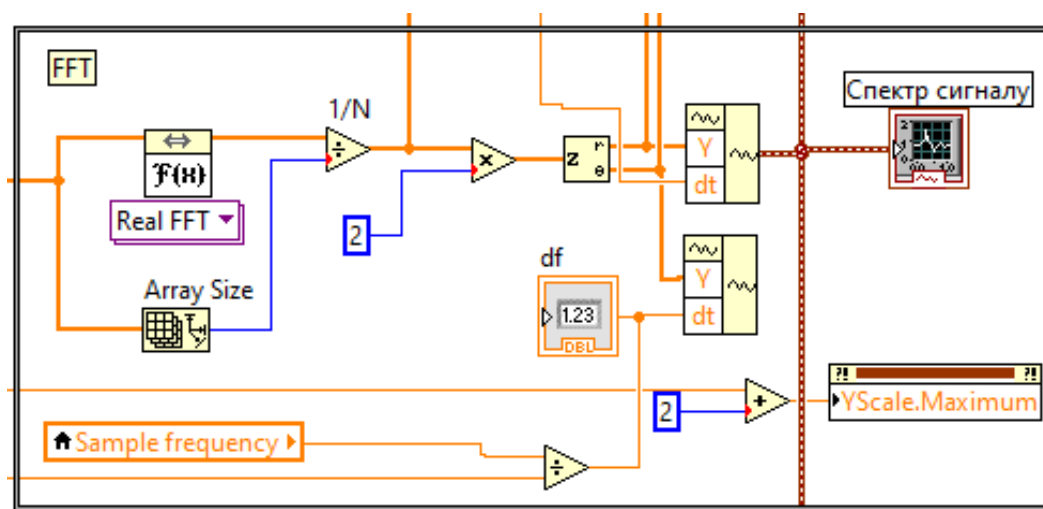


Рисунок 2.7 – Блок візуалізації спектра сигналу

Блок для візуалізації відновленого сигналу по відліках оберненого дискретного перетворення Фур'є представлено на рисунку 2.8. На вхід блоку подається дискретний сигнал, алгоритм оберненого ДПФ перетворює цей сигнал у цифровий з тією ж частотою дискретизації. На виході користувач отримує графік відліків оберненого ДПФ (на рисунку 2.8, блок IFFT). Далі алгоритм кусково-лінійної апроксимації відображає експериментально отриману функцію у вигляді синусоїди.

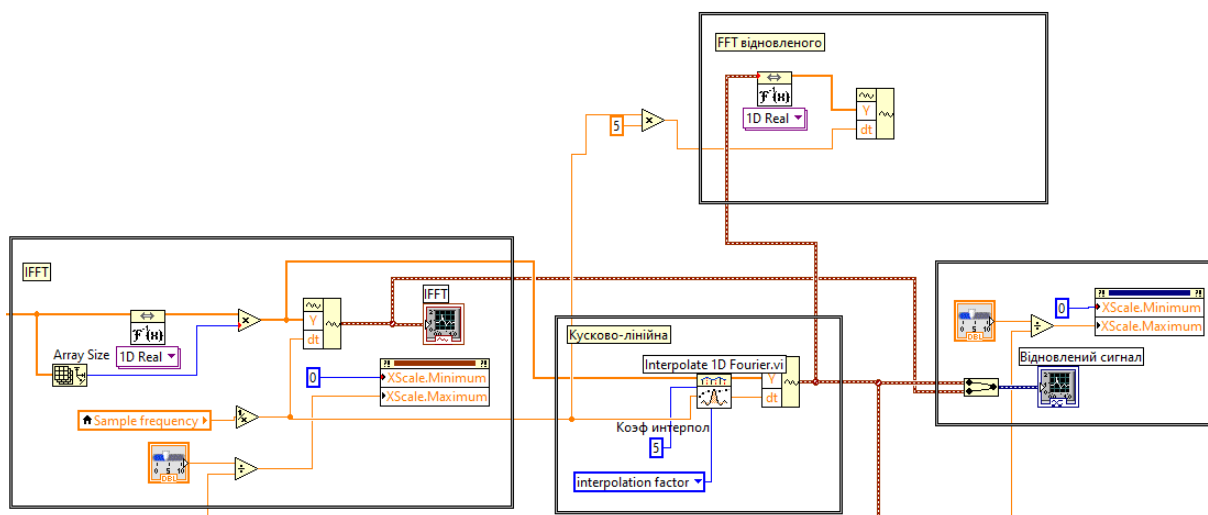


Рисунок 2.8 – Блок візуалізації відновленого сигналу по відліках ОДБФ

2.3 Розробка методичного забезпечення та інструкції по експлуатації програмного компонента

В наш час на перший план виступає потреба в підготовці не просто освічених фахівців, які володіють тим чи іншим багажем знань, а насамперед людей, які вміють творчо мислити, здатні швидко реагувати на будь-які нестандартні ситуації, постійно вдосконалюють свої знання та використовують їх на практиці. Тому тільки наявність сучасної навчально-лабораторної бази та техніки дає можливість підготувати висококласних фахівців, які відповідають сучасним запитам роботодавців. А власне якісне навчально-лабораторне обладнання допомагає викладацькому складу будувати належним чином освітній процес.

Також перевагою лабораторного стенду є те, що студенти набувають в роботі з сучасним програмним забезпеченням відкритої платформи LabView компанії National Instrument, яка вважається найпотужнішою системою комп'ютерної математики в світі.

З'являється можливість попереднього моделювання досліджуваних фізичних процесів в електроенергетичних системах, що робить процедуру експериментального пошуку більш осмисленою і продуктивною. Можна досліджувати як статичні, так і динамічні показники об'єктів у режимах багатоканального керування з досить складними алгоритмами.

Лабораторні роботи проводяться з метою закріпити теорію лекційного курсу та отримати навички та вміння, які будуть необхідні в майбутній професії.

Висновки

В даному розділі було описано шлях розробки програмного забезпечення від створення попередньої структури програми, до безпосередньо готового робочого компоненту, що може бути застосований для вивчення ефекту накладання спектрів.

					BM61.050004.001	Арк.
						32
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ПРОЕКТ МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ: «ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТУ НАКЛАДАННЯ СПЕКТРІВ»

3.1 Опис віртуальних засобів вимірювальної техніки

Віртуальні засоби вимірювальної техніки в даному випадку складаються з комп'ютера і програмного забезпечення, які в комплексі утворюють систему, ідентичну традиційним приладам. Віртуальні прилади дозволяють використовувати всю обчислювальну потужність, продуктивність, графічні і мережні можливості сучасних персональних і промислових комп'ютерів.

3.1.1 Технічний опис і інструкція з експлуатації

Дослідження проводяться на віртуальному лабораторному стенді, який є комп'ютерною моделлю, виконаною на платформі LABVIEW і розташованою на робочому столі персонального комп'ютера. Інтерфейс користувача віртуального симулятора, призначеного для демонстрації ефекту накладення спектрів при виконанні ДПФ має вигляд на рисунку 3.1.

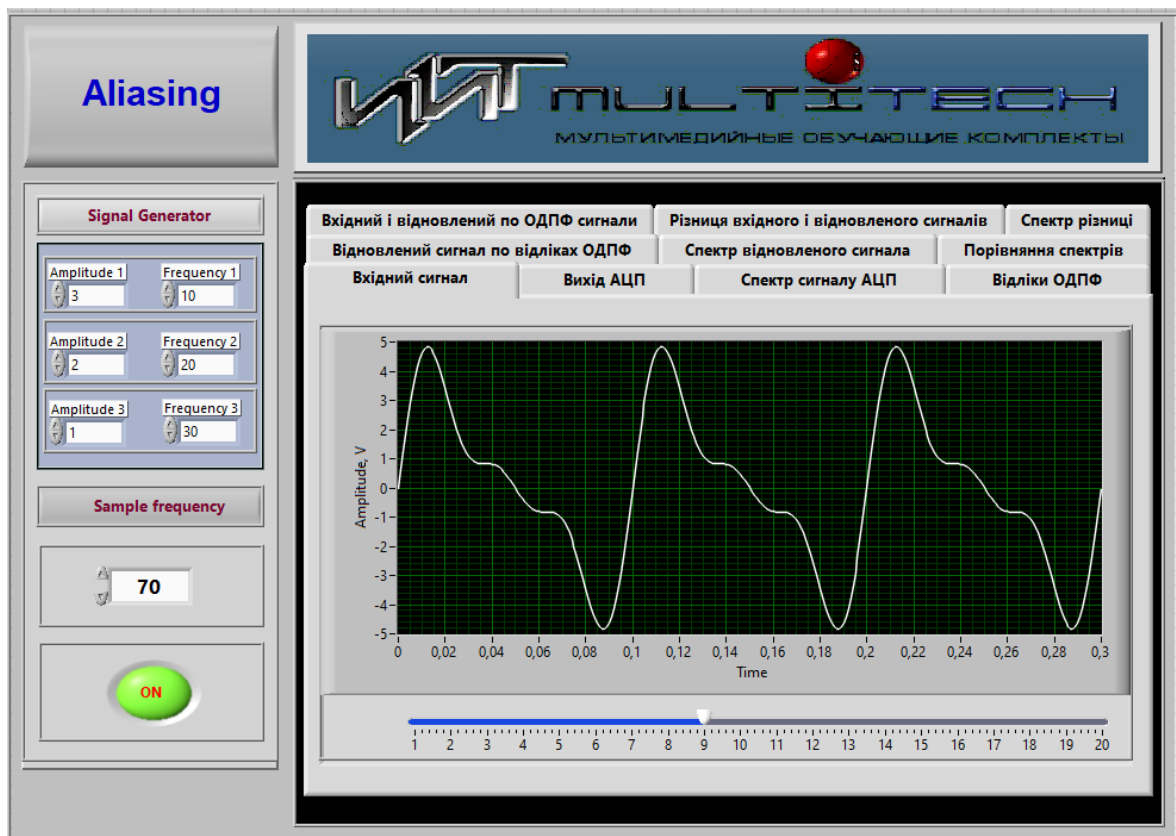


Рис 3.1 – Лабораторний стенд у середовищі LabWiew

3.1.2 Підготовка віртуального стенду і віртуальних засобів виміральної техніки до роботи:

1. Запустіть програму-оболонку лабораторного практикуму і виберіть лабораторну роботу «Дослідження ефекту накладання спектрів». На робочому столі комп'ютера автоматично з'явиться модель лабораторного стенду з моделями віртуальних засобів вимірів.
2. Ознайомитися з розташуванням моделей засобів вимірювань на робочому столі.
3. Ознайомитися (уважно) з призначенням кожного органу управління всіх віртуальних приладів, що входять до складу стенду.
4. Підготувати моделі стенду і віртуальних приладів до роботи. Для цього потрібно включити за допомогою кнопки «Power» віртуальний стенд.
5. Перевірити працездатність приладів шляхом випробування органів управління, змінюючи амплітуду і частоту, а також параметри спектрального аналізу. В процесі випробування, простежити за змінами зображення спектру на екрані цифрового аналізатора.

6. Приступити до виконання лабораторної роботи.

Після включення віртуального симулятора користувач встановлює параметра вхідного сигналу, який представляє собою суму трьох гармонійних складових, для яких регулюються:

- амплітуда в діапазоні від 0 до 10 V з кроком 0.1 V;
- частота в діапазоні від 0 до 1 kHz з кроком 0.1 Hz.

Крім того, користувачеві надається можливість управляти частотою дискретизації вхідного сигналу в діапазоні від 0 до 4 kHz з кроком 0.1 Hz, з метою створення умов для появи ефекту накладання спектрів.

Після установки заданих параметрів програма формує вхідний масив даних над яким проводиться наступні операції:

- розрахунок спектр сигналу за допомогою ДПФ;
- розрахунок оберненого ДПФ;
- відновлення сигналу за допомогою оберненого ДПФ;
- розрахунок різниці вхідного і відновленого сигналу;
- розрахунок спектра різниці за допомогою ДПФ.

Кожен крок виконання цифрової обробки встановленого сигналу зображують у вигляді осцилограм на екрані симулятора. Зображення на екрані масштабується за допомогою повзунків

Користувач має можливість переглядати осцилограми на будь-якому етапі цифрової обробки в довільному порядку, змінювати вихідні умови, оперативно відслідковувати реакцію алгоритму на зроблені зміни. Перегляд осцилограм реалізується програмним шляхом за допомогою меню, реалізованого у вигляді системи вкладок.

Процедура виконання вимірювань передбачає використання курсора або масштабної сітки екрану.

3.2 Порядок виконання досліджу:

1. Повторити питання, пов'язані з особливостями і властивостями ДПФ, дискретними сигналами і процедурою дискретизації аналогового сигналу.
2. Підготувати віртуальний стенд до роботи (див. пункт 3.1.2).
3. Отримати у викладача варіант та вихідні дані для проведення досліджу
4. Для заданих вихідних даних розрахувати:
 - 4.1 Частоту дискретизації вище частоти Найквіста ($f_s > 2f_a$)
 - 4.2 Частоту дискретизації нижче частоти Найквіста ($f_s < 2f_a$)
 - 4.3 Частоту дискретизації з частотою Найквіста ($f_s = 2f_a$)
5. Включити програму в режим циклічного (довготривалого) виконання.
6. Установити задані вихідні дані амплітуди і частоти і, також, розраховані дані частоти дискретизації для трьох випадків.
7. Зберегти отримані графіки результатів у середовищі LabView.
8. Виконати перевірку отриманих результатів у середовищі MatLab.
9. Оформити протокол роботи.

3.3 Завдання для домашнього виконання:

1. Вивчити матеріали, пов'язані з особливостями і властивостями ДПФ, дискретними сигналами і процедурою дискретизації аналогового сигналу за конспектом лекцій і рекомендованою літературою.
2. Здійснити вибір вихідних даних до моделювання відповідно до варіанта робочого завдання із таблиці.
3. Скласти функціональну залежність, яка повинна бути визначена розрахунково-експериментальним шляхом, а, також, відповідати меті лабораторної роботи.
4. Вибрати або визначити функцію і аргумент залежності.
5. Розраховувати діапазон змін аргументу і вимірювані величини.
6. Розробити таблиці для проведення експерименту і підсумкові таблиці.

					BM61.050004.001	Арк.
						36
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Підготувати і скласти звіт про проведену роботу з виконання домашнього завдання.
8. Ознайомитись з роботою віртуального стенду, методикою експериментальних досліджень і порядком виконання даної лабораторної роботи, вивчити схему макета і принцип його роботи.
9. Підготувати і скласти протокол досліджень відповідно до завдань експериментальної частини.
10. Підготуватись до обговорення за ключовими питаннями.

3.3.1 Методичні вказівки до виконання домашнього завдання

Методичні вказівки до пункту 1:

Для вивчення навчального матеріалу розділу «Дискретні сигнали і системи» рекомендується використати конспект лекцій і рекомендовану літературу, або скористатись електронним ресурсом

<http://moodle.udc.ntu-kpi.kiev.ua/moodle/login/index.php>

Ознайомитись з рекомендованою літературою.

Особливу увагу слід приділити наступним питанням: властивості і особливості прямого та оберненого перетворення Фур'є, теорема Котельникова.

Внаслідок засвоєння матеріалу теми необхідно знати засадничі формули прямого і оберненого перетворення Фур'є, а, також, їх властивості.

Методичні вказівки до пункту 3:

Для досягнення поставленої мети необхідно оцінити залежність ефекту накладення спектрів від частоти дискретизації, яка може бути представлена у вигляді:

$$\text{«Характеристика»} = \varphi(F_s)$$

де «Характеристика» - оцінка ефекту накладення спектрів;

(F_s) - частота дискретизації сигналу

					BM61.050004.001	Арк.
						37
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, функцією є «характеристика», а аргументом функціональної залежності є частота дискретизації сигналу (F_s).

Методичні вказівки до пункту 4:

В якості оцінки ефекту накладення доцільно вибрати характеристику, яка відображатиме ступінь залежності накладення спектрів від зміни F_s .

В даному випадку вибираємо характеристику SNR (відношення сигнал / шум або відношення сигнал / спотворення) на заданій частоті:

$$SNR_f = 20 \log \frac{A_{nois}}{A_{sig}},$$

де A_{nois} - значення амплітуди спектральної складової шуму на частоті f Гц (в нашому випадку амплітуда помилкової спектральної складової в зоні прямого спектра);

A_{sig} - значення амплітуди спектральної складової вхідного сигналу на частоті f Гц.

Отже, остаточно шукана функціональна залежність приймає вигляд:

$$SNR_f = \varphi(F_s)$$

Методичні вказівки до пункту 5:

Для побудови обраної залежності установці підлягає частота дискретизації F_s , а виміру – амплітуди A_{nois} і A_{sig} на відповідних частотах.

Для проведення експерименту, використовуючи вихідні дані, необхідно розрахувати:

- граничні значення діапазону зміни частоти дискретизації і крок установки;
- значення частот, на яких з'являться помилкові складові спектра;

- передбачувані значення амплітуд спектральних складових вихідного сигналу на частотах появи помилкових складових (при відсутності на цих частотах реальних складових спектра початкового сигналу).

1 Розрахунок діапазону зміну частоти дискретизації

Для розрахунку граничних значень діапазону зміни частоти дискретизації і кроку установки частоти скористаємося теоремою Котельникова та апроксимацією реального спектру вихідного сигналу.

- Розрахунок мінімально-допустимого значення частоти дискретизації

Виходячи з наведеного рисунка видно, що фігура прямого спектра сходиться з фігурою інверсного спектра в одній точці на частоті 56 Гц, що відповідає частоті дискретизації

$$F_s = 2 \cdot 56 \text{ Гц} = 112 \text{ Гц}$$

Таке значення частоти дискретизації відповідає мінімальному значенню, при якому не спостерігається перекриття спектрів (ефект аліасинга).

- Розрахунок мінімального значення частоти дискретизації

Розрахуємо мінімальне значення частоти дискретизації для випадку аліасинга за умови, що перша гармоніка інверсного спектра ($f_{al}=70 \text{ Гц}$) буде знаходитися в точці на частотній осі 7 Гц, тобто перебувати перед першою гармонікою прямого f_{al}^+ спектра, за формулою

$$f_v = F_s \pm f_a ,$$

де f_v - частота помилкової спектральної складової, зумовленої накладанням спектрів.

Отже,

					BM61.050004.001	Арк.
						39
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_s = f_v \pm f_a = (7 + 42) \text{Hz} = 49 \text{Hz}$$

Отже, діапазон зміни становить: від 112 Гц до 49 Гц.

2 Розрахунок і вибір кроку зміни частоти дискретизації

Розрахуємо крок по частоті виходячи з вимоги - 10 точок на весь діапазон зміни:

$$\Delta F_s = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{10} = \frac{(112 - 49) \text{Hz}}{10} = 6.3 \text{Hz}$$

Вибираємо значення кроку ΔF_s дорівнює 7 Гц, тоді F_{\min} складе 42 Гц, а помилкова спектральна складова розташується на частотній осі в точці 0 Гц, причому встановлювальні частоти складуть:

	Частота дискретизації, Гц									
F_s	112	105	98	91	84	77	70	63	56	49

Частота 42 Гц в таблиці не приведена, так як вона є 11 (зайвої) точкою і з'явилася при округленні кроку до цілого числа.

3 Розрахунок значень частот позиціонування помилкових складових

Розрахуємо для кожного значення частоти дискретизації частоти помилкових складових спектра для кожної гармоніки.

Перша гармоніка $f_1 = 14 \text{ Гц}$.

Згідно з теоремою Котельникова ця гармоніка не створюватиме помилкових спектральних складових в обраному діапазоні зміни F_s .

Друга гармоніка $f_2 = 28 \text{ Гц}$.

Ця гармоніка буде створювати помилкові спектральні складові у вибраному діапазоні зміни F_s при значеннях 56 Гц і 49 Гц.

	Частота дискретизації, Гц									
F_s	112	105	98	91	84	77	70	63	56	49
f_2	-	-	-	-	-	-	-	-	28	21

					Арк.				
					40				
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	BM61.050004.001				

Третя гармоніка $f_3 = 42 \text{ Гц}$.

Ця гармоніка буде створювати помилкові спектральні складові у вибраному діапазоні зміни F_s при значеннях 84Гц, 77Гц, 70Гц, 63Гц, 56Гц і 49Гц.

	Частота дискретизації, Гц									
F_s	112	105	98	91	84	77	70	63	56	49
f_2^v	-	-	-	-	42	35	28	21	14	7

4 Розрахунок значень передбачуваних амплітуд реальних спектральних складових

У зв'язку з тим, що на частотах помилкових спектральних складових може бути відсутня реальна спектральна складова прямого спектра, необхідно розрахувати передбачувані значення спектральних складових на цих частотах. Розрахунок проведемо на підставі апроксимації фігури прямого спектра, а дані занесемо в таблицю.

	Частота вимірювань, Гц					
	7	14	21	28	35	42
A_f	7	6	5	4	3	2

Методичні вказівки до пункту 6:

Складаємо підсумкову таблицю для проведення експериментальних досліджень:

			Встановлювана частота дискретизації, Гц									
		$f_i^v F_s$	112	105	98	91	84	77	70	63	56	49
помилкових спектральних складових	f_2^v	21	-	-	-	-	-	-	-	-		4
		28	-	-	-	-	-	-	-	-	4	0
	f_3^v	7	-	-	-	-						2

		14	-	-	-	-				2	0
		21	-	-	-	-			2	0	4
		28	-	-	-	-		2	0	4	0
		35	-	-	-	-	2	0	4	0	6
		42	-	-	-	-	2	0	4	0	2

Методичні вказівки до пункту 7:

При складанні звіту про проведену роботу з виконання домашнього завдання пропонується керуватися наступними критеріями:

- Стислість: у звіті необхідно чітко і лаконічно викласти всю необхідну інформацію, вдаючись до простої ділової мови.
- Чітка структура: звіт повинен бути логічно побудований і відповідати відповідним пунктам завдання.
- Речення в звіті повинні бути короткими і правильно побудованими, не повинно бути величезних абзаців. Звіт повинен бути «читабельним».

При оформленні звіту необхідно звернути увагу на правильність оформлення текстових документів, діаграм, рисунків, схем і таблиць, а також на той факт, що звіт про проведену роботу є невід'ємною частиною загального звіту у вигляді Додатка.

Методичні вказівки до пункту 8:

Ознайомитись з роботою віртуального стенду і порядком виконання даної лабораторної роботи, вивчити схему макета.

Вивчення роботи віртуального стенду слід починати з розгляду основних принципів та особливостей роботи структурної схеми віртуальної установки, звернувши увагу на функціональні особливості окремих структурних елементів схеми.

Ознайомитись з роботою віртуальних приладів даної лабораторної роботи, вивчити методику користування вимірювальними приладами.

Методичні вказівки до пункту 9:

Скласти протокол дослідження відповідно до завдань експериментальної частини.

Рекомендовано спочатку вивчити методику експериментального дослідження, приділивши увагу порядку виконання роботи.

Методичні вказівки до пункту 10:

Рекомендовано повторити матеріал лекції та матеріали додаткової літератури. Підготувати розгорнуті відповіді на питання:

1. Запишіть основні співвідношення ДПФ.
2. Для яких цілей використовується алгоритм ДПФ?
3. Перерахуйте основні особливості алгоритму ДПФ.
4. Які обмеження властиві алгоритму ДПФ і чим вони спричинені?
5. Як впливає вибір значення частоти дискретизації на спектральний склад аналізованого сигналу?
6. Перерахуйте основні параметри спектрального аналізу за допомогою алгоритму ДПФ.
7. Назвіть основні особливості ДПФ.
8. До чого приводить накладення спектрів і чим воно визначається?

3.3.2 Звіт про проведену роботу з виконання домашнього завдання до лабораторної роботи «Дослідження ефекту накладання спектрів»

1. Вивчено теоретичний матеріал, щодо особливостей і характеристик періодичних сигналів, алгоритму дискретного перетворення Фур'є, ознайомлено з практичними прикладами, зрозуміло технологію моделювання сигналів. Незрозумілих теоретичних і практичних положень не виявлено.
2. Сформовано вихідні дані до моделювання відповідно варіанта робочого завдання і складені робочі математичні моделі для визначення залежності ефекта накладення спектрів від частоти дискретизації.

					BM61.050004.001	Арк.
						43
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Математична модель полі гармонічного вимірювального сигналу $S(t)$ подається у вигляді суми трьох простих коливань з різними значеннями амплітуд і частот.

$$S(t) = S_1(t) + S_2(t) + S_3(t)$$

4. Розраховано діапазон зміни частоти дискретизації, а, також, розраховано і вибрано кроку зміни частоти дискретизації, розраховано значення частот позиціонування помилкових складових та значення передбачуваних амплітуд реальних спектральних складових.
5. Складено підсумкову таблицю для проведення експериментальних досліджень.

3.4 Завдання для практичного виконання

Завдання 1

Здійснити імітаційне моделювання сигналу в програмному середовищі MatLab і дослідити їх поведінку у часовій області. Розробити код і зафіксувати в протоколі графічні результати моделювання сигналу. (Вихідні дані для моделювання вибрати і погодити з викладачем).

Завдання 2

Здійснити імітаційне моделювання спектрального подання моделей сигналів зазначеної форми рядом Фур'є в програмному середовищі MatLab і дослідити їх поведінку в частотній області.

Методичні вказівки до практичного завдання:

1. Змоделюємо модель вхідного сигналу у середовищі MatLab.

Лістинг для роботи програми:

```
a=0; b=0.667; h=0.001;
x=a:h:b;
y=3.*sin(2.*pi.*5.*x)+2.*sin(2.*pi.*10.*x)+1.*sin(2.*pi.*15.*x);
```

					BM61.050004.001	Арк.
						44
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		


```
plot(x,y);
```

```
grid
```

2. Змодельюємо модель оберненого ДПФ у середовищі MatLab.

Лістинг для роботи програми:

```
fd=27.5;
```

```
a=0; b=1; h=0.001; h1=1/fd;
```

```
x=a:h:b;
```

```
y=3.*sin(2.*pi.*5.*x)+2.*sin(2.*pi.*10.*x)+1.*sin(2.*pi.*15.*x);
```

```
x1=a:h1:b;
```

```
y1=3.*sin(2.*pi.*5.*x1)+2.*sin(2.*pi.*10.*x1)+1.*sin(2.*pi.*15.*x1);
```

```
stem(y1(1:20));
```

```
grid
```

3. Змодельюємо модель спектру сигналу у середовищі MatLab.

Лістинг для роботи програми:

```
fd=27.5; h1=1/fd;
```

```
num=fd;
```

```
y1=3*sin(2*pi*5*x1)+2*sin(2*pi*10*x1)+1*sin(2*pi*15*x1);
```

```
f=0:1:num;
```

```
spektr=fft(y1,num);
```

```
stem(f(1:num),2/fd*abs(spektr(1:num)));
```

```
grid
```

4. Змодельюємо модель відновленого сигналу у середовищі MatLab.

Лістинг для роботи програми:

```
fd=27;
```

```
t=0:1/fd:1;
```

					BM61.050004.001	Арк.
						45
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

```

h1=1/fd;

num=fd;

y1=3*sin(2*pi*5*t)+2*sin(2*pi*10*t)+1*sin(2*pi*15*t);

spektr=fft(y1,num);

f_y=ifft(spektr,num)

t1=0:0.001:1;

y2=0:0.001:1;

for j=1:1000

    fun1=0;

    for i=1:num

        fun1=(real(f_y(i))*sinc(fd*(t1(j)-t(i))))+fun1;

    end

    y2(j)=fun1;

end

plot(t1(1:1000),y2(1:1000));

grid

```

Висновки

В даному розділі було розроблено проект методичних вказівок до виконання лабораторної роботи, робоче завдання та порядок виконання досліду, завдання та методичні вказівки до виконання домашнього завдання. Також розроблено завдання для практичного виконання та лістинги програми для перевірки експериментальних досліджень сигналу.

4 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Задамо тестові вхідні дані, що наведені в таблиці нижче.

№ варіанта	Амплітуда 1-ої гармоніки	Амплітуда 2-ої гармоніки	Амплітуда 3-ої гармоніки	Частота 1- ої гармоніки	Частота 2- ої гармоніки	Частота 3- ої гармоніки
0	3	2	1	5	10	15

Табл. 4.1 – Значення вхідних даних

Відповідно до заданих вхідних значень, нижче наведено графічне зображення вхідного сигналу в середовищі LabVIEW (рис. 4.1) та модель вхідного сигналу в середовищі Matlab (рис. 4.2).

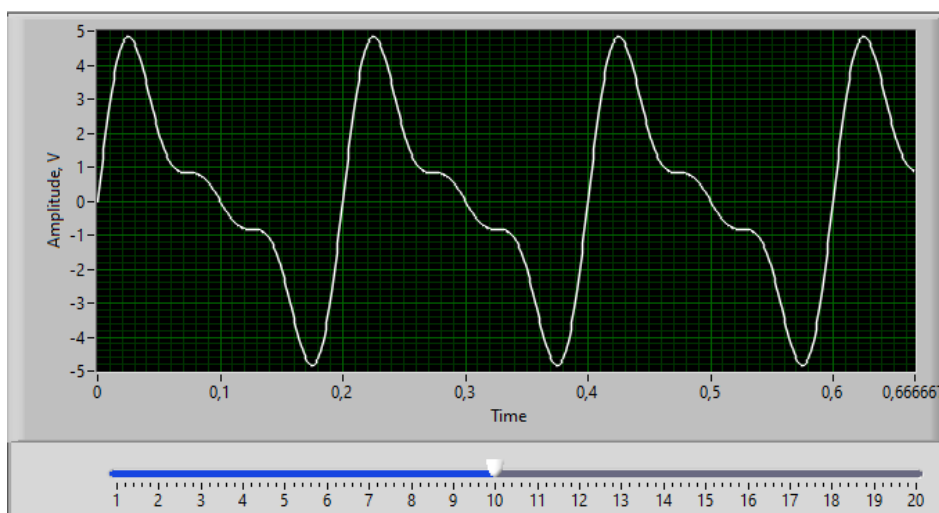


Рис. 4.1 – Графічне зображення вхідного сигналу

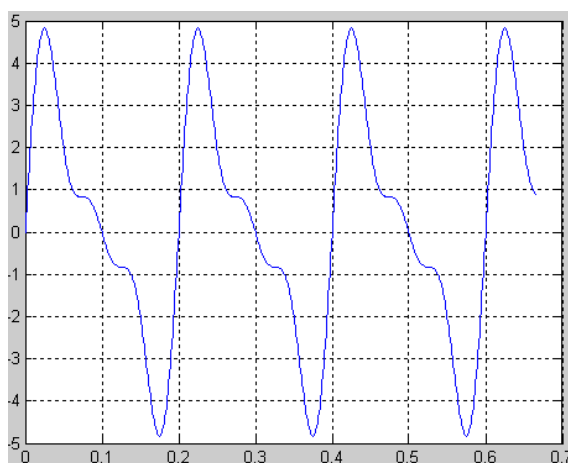


Рис. 4.2 – Модель вхідного сигналу в середовищі Matlab

Дискретизація з частотою вище частоти Найквіста ($f_s > 2f_a$)

Розрахуємо частоту дискретизації для дослідження сигналу з частотою вище частоти Найквіста ($f_s > 2f_a$) за формулою:

$$\frac{F_s}{2} = \frac{15 + 20}{2} = 17,5 \text{ Гц, тоді } F_s = 2 \cdot 17,5 = 35 \text{ Гц}$$

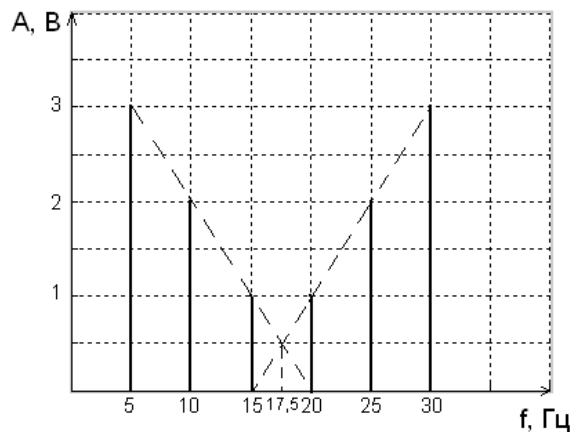


Рис. 4.3 – Розрахунок частоти дискретизації вище частоти Найквіста ($f_s > 2f_a$)

Задавши розраховане значення частоти дискретизації на приладі, отримуємо графік спектра сигналу в середовищі LabVIEW (рис. 4.4) та порівнюємо його з графіком, отриманим у середовищі програмування Matlab (рис. 4.5). З наведених графіків видно, що обраний алгоритм і обрана частота дискретизації є коректними. Жодна гармоніка сигналу не втрачена.

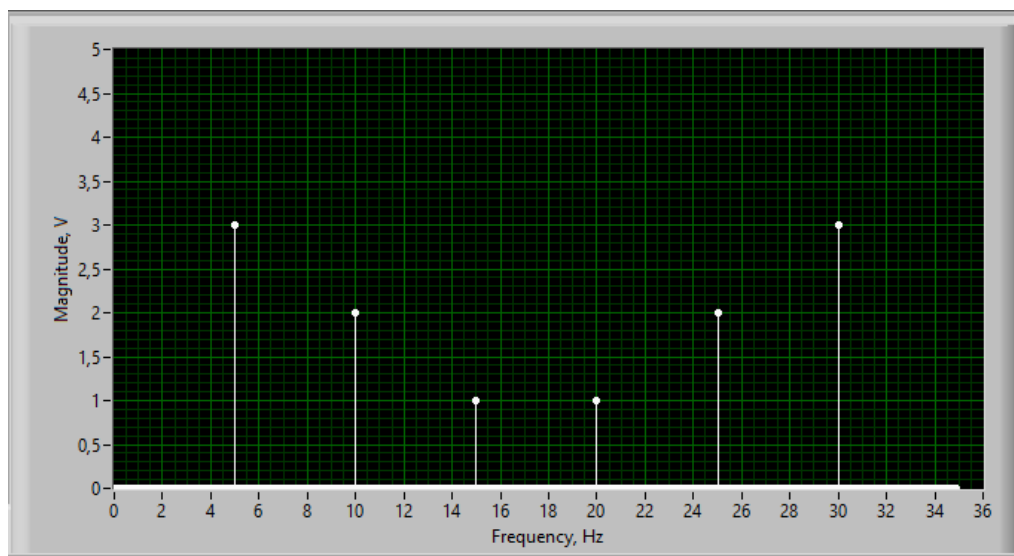


Рис. 4.4 – Спектр сигналу

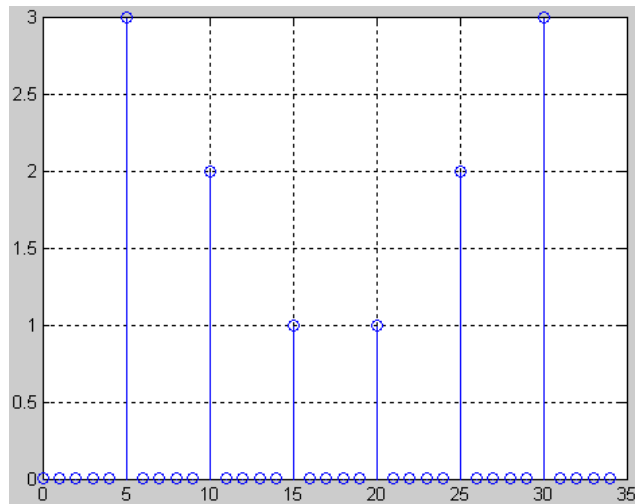


Рис. 4.5 – Спектр сигналу в середовищі Matlab.

Для відновлення сигналу скористаємося алгоритмом оберненого ДПФ. Графік відліків оберненого ДПФ в середовищі LabVIEW наведено на рис. 4.6 та на рис. 4.7 наведено графік, отриманий у середовищі програмування Matlab.

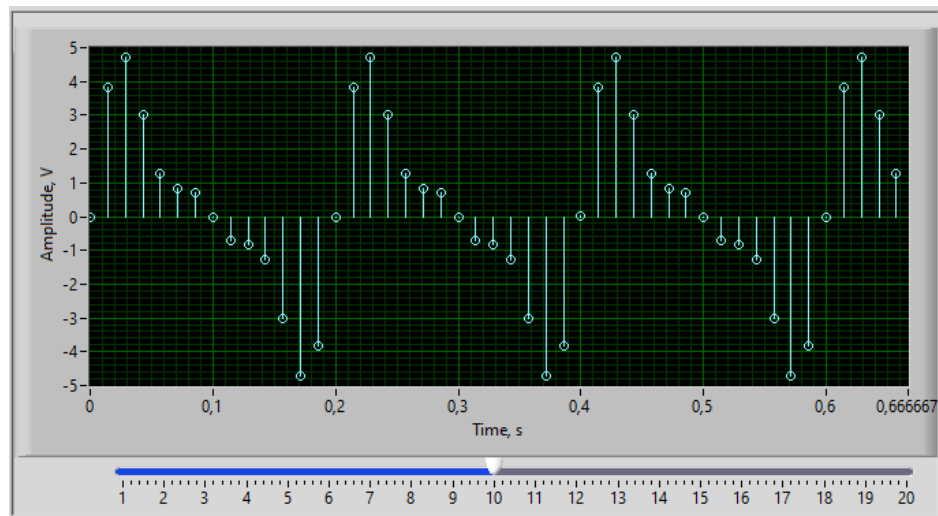


Рис. 4.6 – Відліки оберненого ДПФ

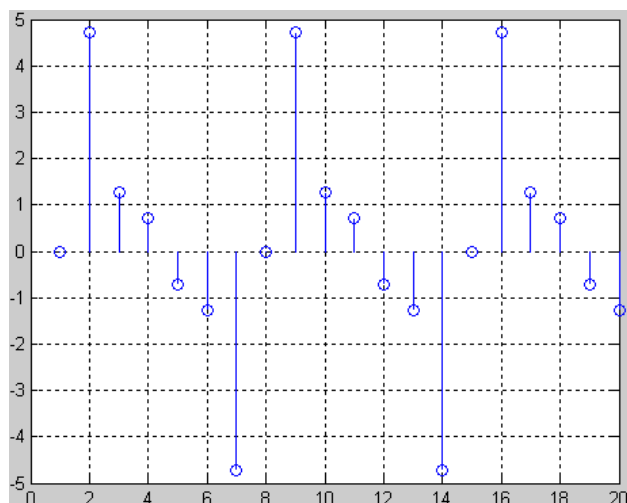


Рис. 4.7 – Відліки оберненого ДПФ в середовищі Matlab

На основі отриманих відліків оберненого ДПФ відновимо сигнал. Графік відновленого сигналу в середовищі LabVIEW (рис. 4.8) та в середовищі програмування Matlab (рис. 4.9).

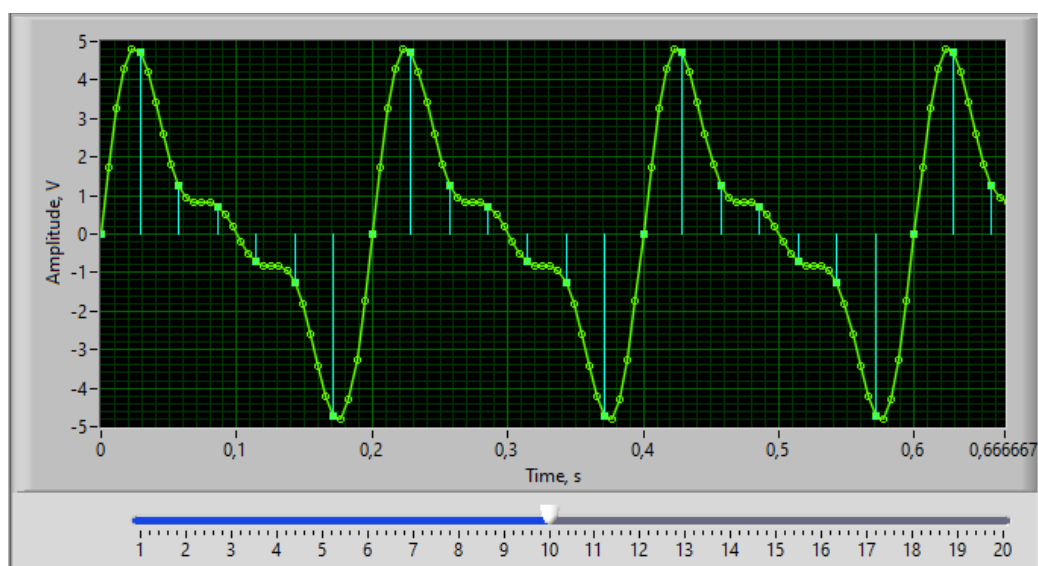


Рис. 4.8 – Відновлений сигнал

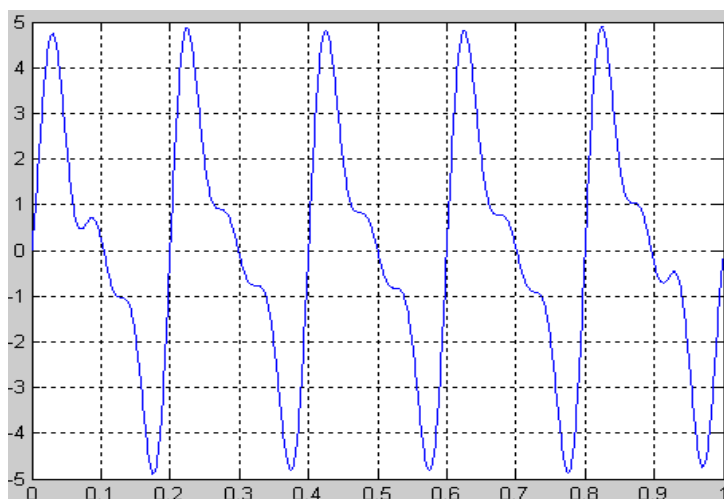


Рис. 4.9 – Відновлений сигнал у середовищі Matlab

Нижче наведено графік різниці вхідного і відновленого сигналу в середовищі LabVIEW (рис. 4.10) та графік спектру різниці вхідного і відновленого сигналу в середовищі LabVIEW (рис. 4.11).

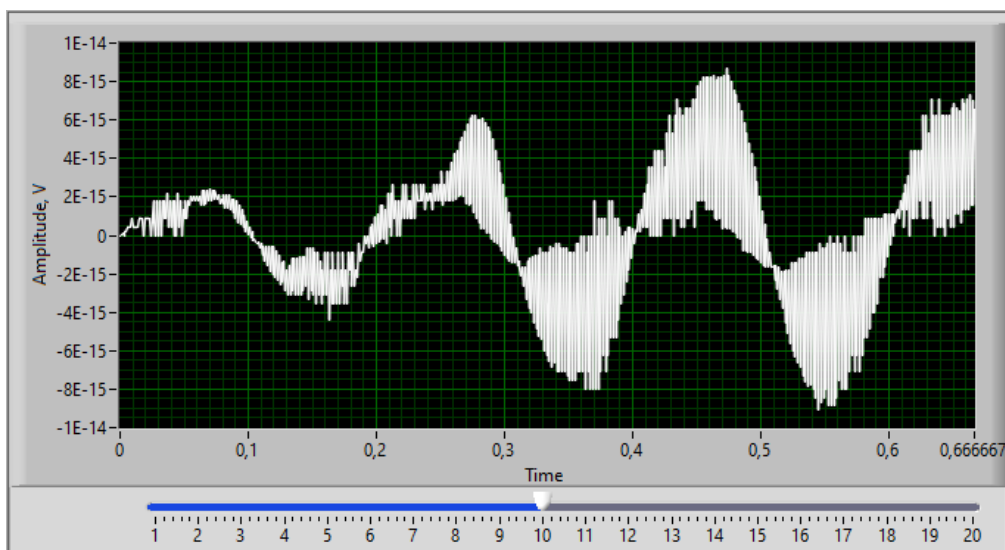


Рис. 4.10 – Різниця вхідного і відновленого сигналу

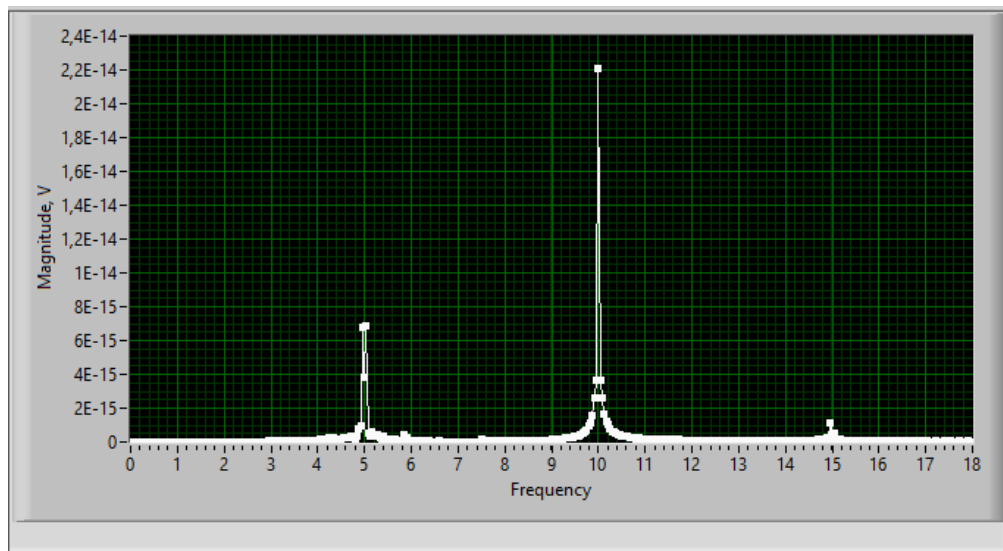


Рис. 4.11 – Спектр різниці вхідного і відновленого сигналу

З наведених у звіті графіків видно, що при дискретизації сигналу з частотою вище частоти Найквіста відновлений сигнал практично не відрізняється від заданого і їх різниця мізерно мала, що проілюстровано на рисунках вище.

Дискретизація з частотою Найквіста ($f_s = 2f_a$)

Розрахуємо частоту дискретизації для дослідження сигналу з частотою Найквіста ($f_s = 2f_a$) за формулою:

$$\frac{F_s}{2} = \frac{10 + 20}{2} = 15 \text{ Гц, тоді } F_s = 2 \cdot 15 = 30 \text{ Гц}$$

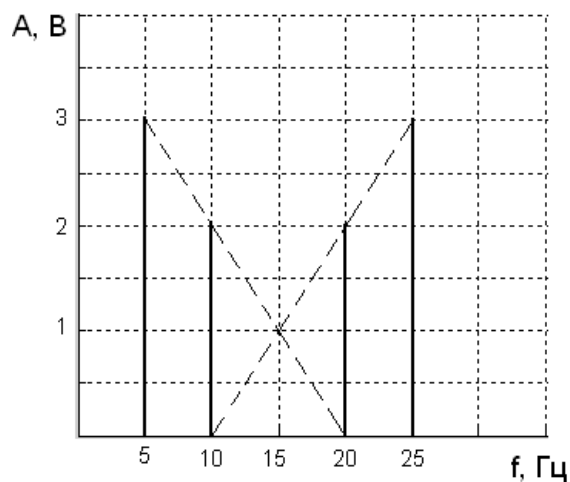


Рис. 4.12 – Розрахунок частоти дискретизації з частотою Найквіста ($f_s = 2f_a$)

					BM61.050004.001	Арк.
						52
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Задавши розраховане значення частоти дискретизації на приладі, отримуємо графік спектра сигналу в середовищі LabVIEW (рис. 4.13) та порівнюємо його з графіком, отриманим у середовищі програмування Matlab (рис. 4.14). З наведених графіків видно, що обраний алгоритм і обрана частота дискретизації є не коректними, тому що одна гармоніка сигналу втрачена.

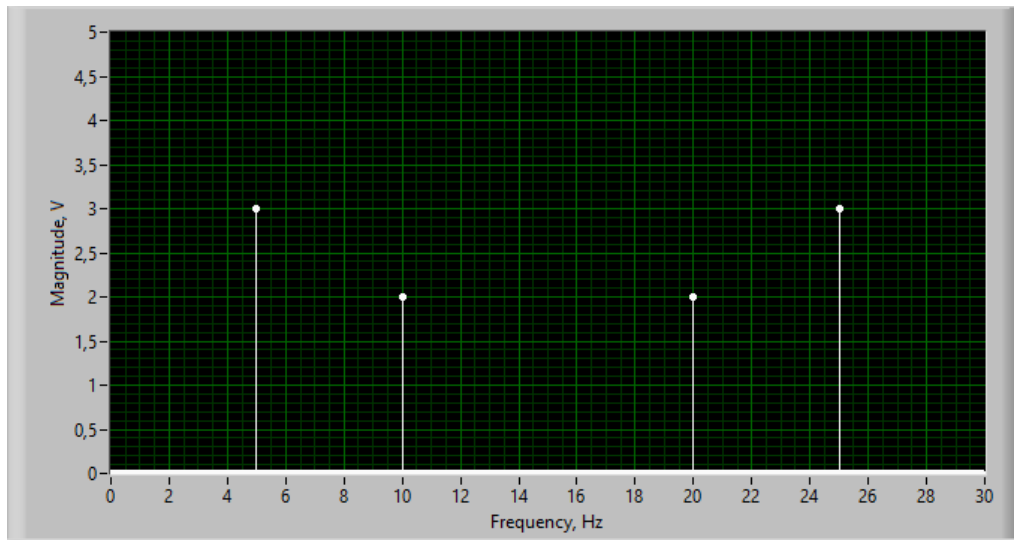


Рис. 4.13 – Спектр сигналу

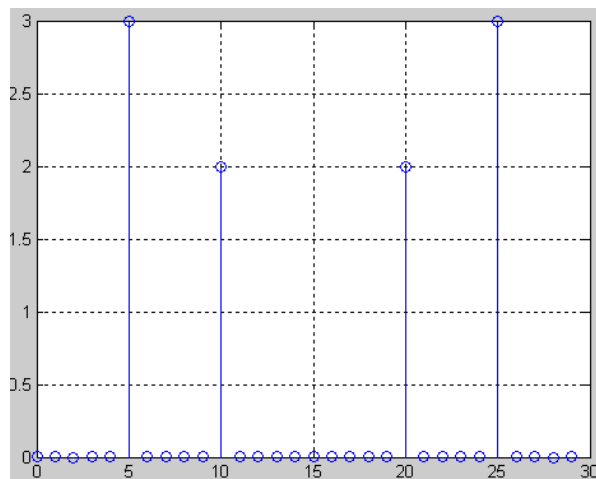


Рис. 4.14 – Спектр сигналу в середовищі Matlab

Для відновлення сигналу скористаємося алгоритмом оберненого ДПФ. Графік відліків оберненого ДПФ в середовищі LabVIEW наведено на рис. 4.15 та на рис. 4.16 наведено графік, отриманий у середовищі програмування Matlab.

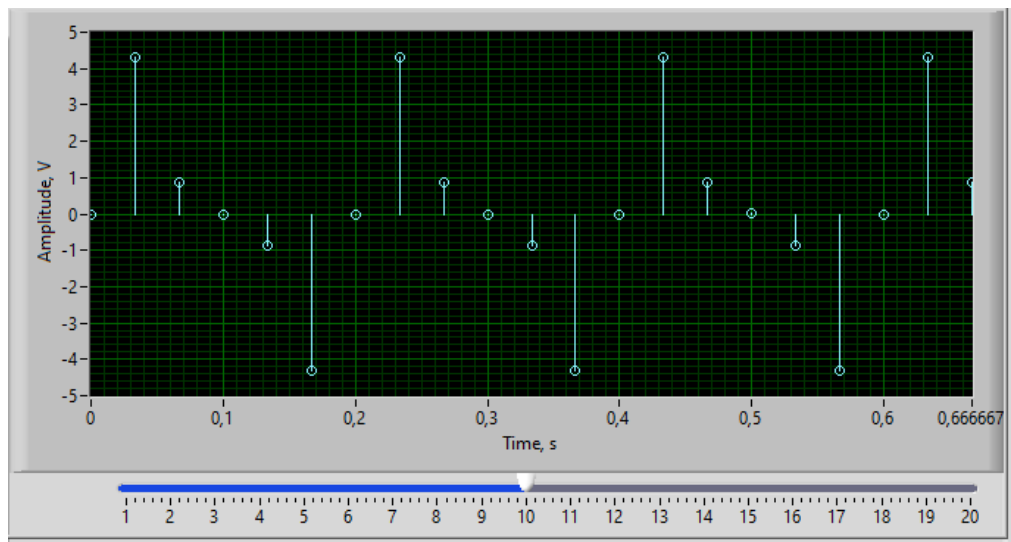


Рис. 4.15 – Відліки оберненого ДПФ

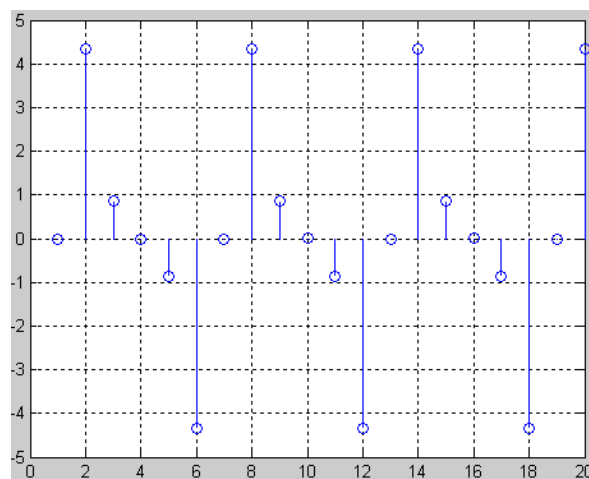


Рис. 4.16 – Відліки ОДФ в середовищі Matlab

На основі отриманих відліків оберненого ДПФ відновимо сигнал. Графік відновленого сигналу в середовищі LabVIEW (рис. 4.17) та в середовищі програмування Matlab (рис. 4.18).

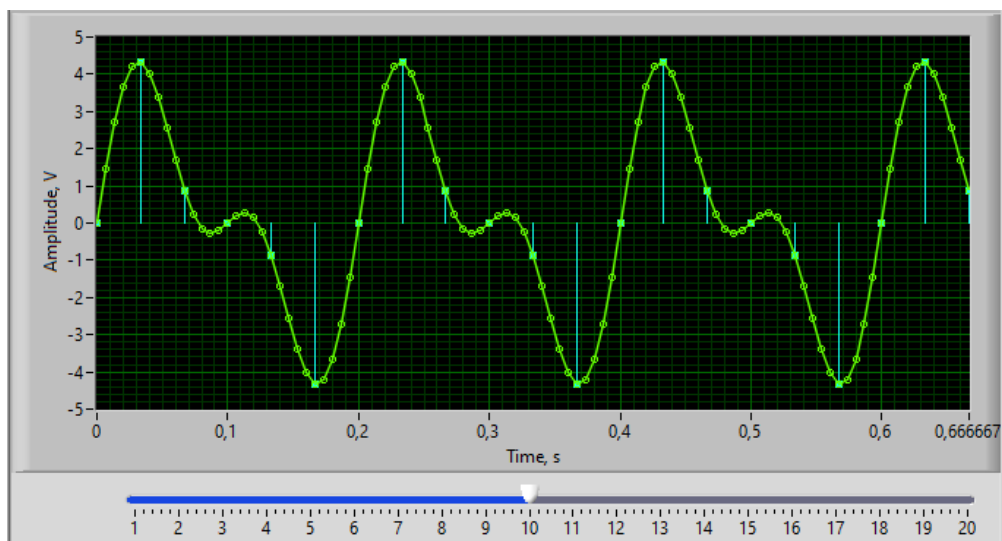


Рис. 4.17 – Відновлений сигнал

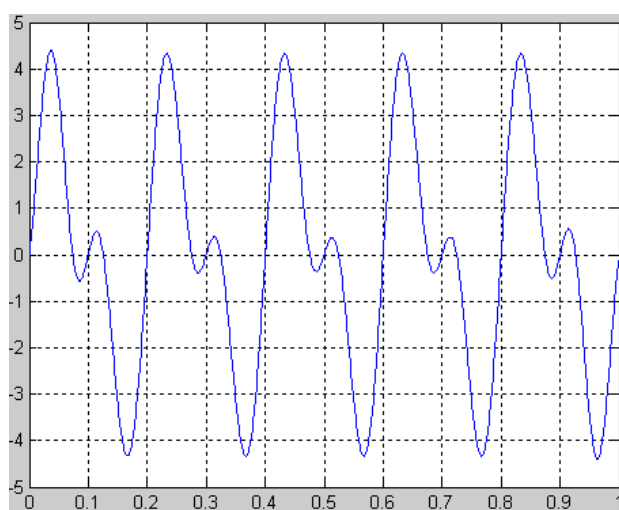


Рис. 4.18 – Відновлений сигнал в середовищі Matlab

Нижче наведено графік різниці вхідного і відновленого сигналу в середовищі LabVIEW (рис. 4.19) та графік спектру різниці вхідного і відновленого сигналу в середовищі LabVIEW (рис. 4.20).

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

BM61.050004.001

Арк.

55

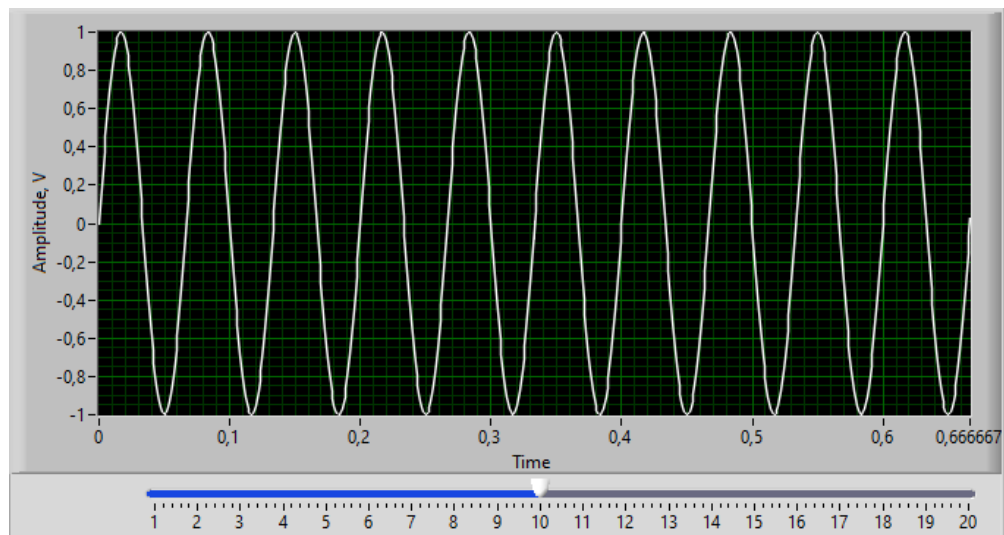


Рис. 4.19 – Різниця вхідного і відновленого сигналу

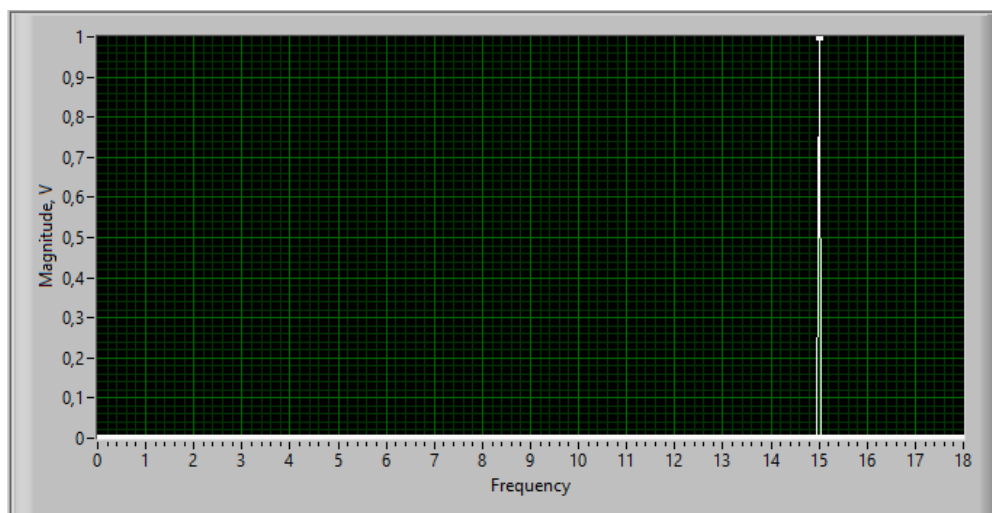


Рис. 4.20 – Спектр різниці вхідного і відновленого сигналу

При дискретизації на частоті Найквіста були отримані дещо гірші результати, так як в процесі дискретизації випала одна гармонійна складова, що видно на рисунках. Але відновлений сигнал близький до вхідного, що допускає дискретизацію на цій частоті.

Дискретизація з частотою нижче частоти Найквіста ($f_s < 2f_a$)

Розрахуємо частоту дискретизації для дослідження сигналу з частотою нижче частоти Найквіста ($f_s < 2f_a$) для трьох випадків за формулою:

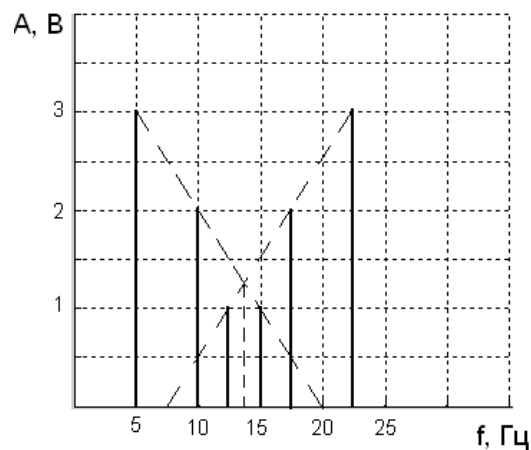


Рис. 4.21 – Розрахунок частоти дискретизації (перший випадок) з частотою Найквіста ($f_s < 2f_a$)

$$\frac{F_s}{2} = \frac{12,5 + 15}{2} = 13,75 \text{ Гц, тоді } F_s = 2 \cdot 13,75 = 27,5 \text{ Гц}$$

$$SNR = \frac{x_{\max}}{x_{\min}} = \frac{1,5}{1} = 1,5$$

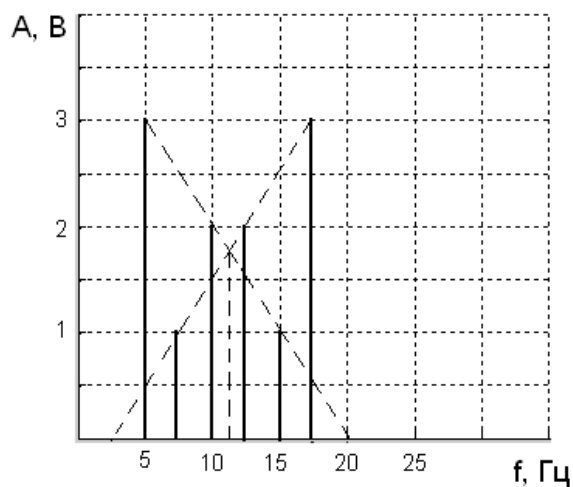


Рис. 4.22 – Розрахунок частоти дискретизації (другий випадок) з частотою Найквіста ($f_s < 2f_a$)

$$\frac{F_s}{2} = \frac{10 + 12,5}{2} = 11,25 \text{ Гц, тоді } F_s = 2 \cdot 11,25 = 22,5 \text{ Гц}$$

$$SNR = \frac{x_{\max}}{x_{\min}} = \frac{2,5}{1} = 2,5$$

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

BM61.050004.001

Арк.

57

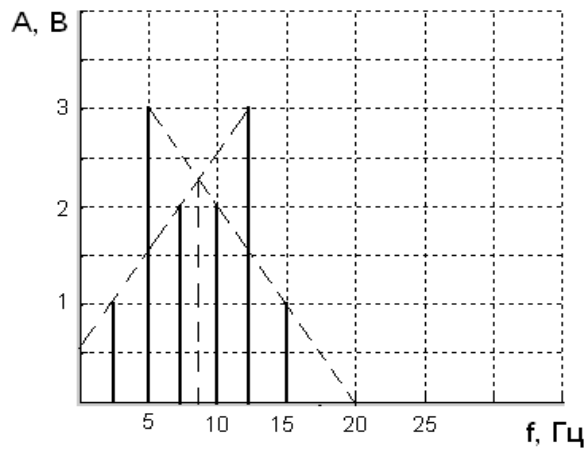


Рис. 4.22 – Розрахунок частоти дискретизації (третій випадок) з частотою Найквіста ($f_s < 2f_a$)

$$\frac{F_s}{2} = \frac{7,5 + 10}{2} = 8,75 \text{ Гц, тоді } F_s = 2 \cdot 8,75 = 17,5 \text{ Гц}$$

$$SNR = \frac{x_{\max}}{x_{\min}} = \frac{2,5}{2} = 1,25$$

Задавши розраховані значення частоти дискретизації на приладі, отримуємо графіки спектра сигналу в середовищі LabVIEW (рис. 4.23) та порівнюємо його з графіками, отриманим у середовищі програмування Matlab (рис. 4.24). З наведених графіків видно, що обраний алгоритм і обрана частота дискретизації є не коректними для кожного випадку, тому що з'являється ефект накладання спектрів.

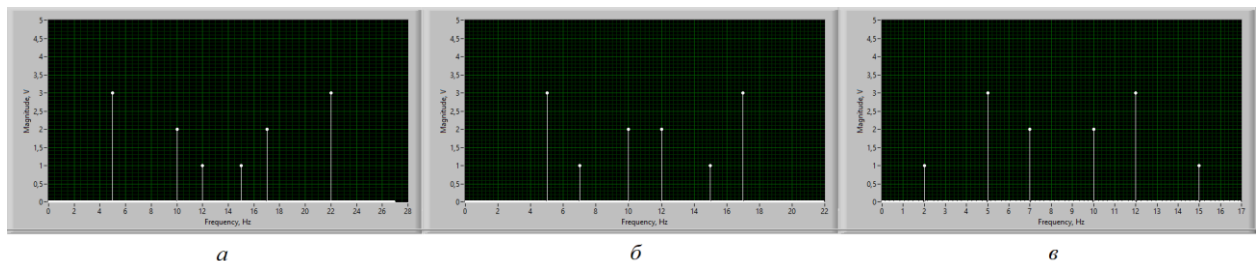


Рис. 4.23 – Спектр сигналу: *а* – перший випадок; *б* – другий випадок; *в* – третій випадок

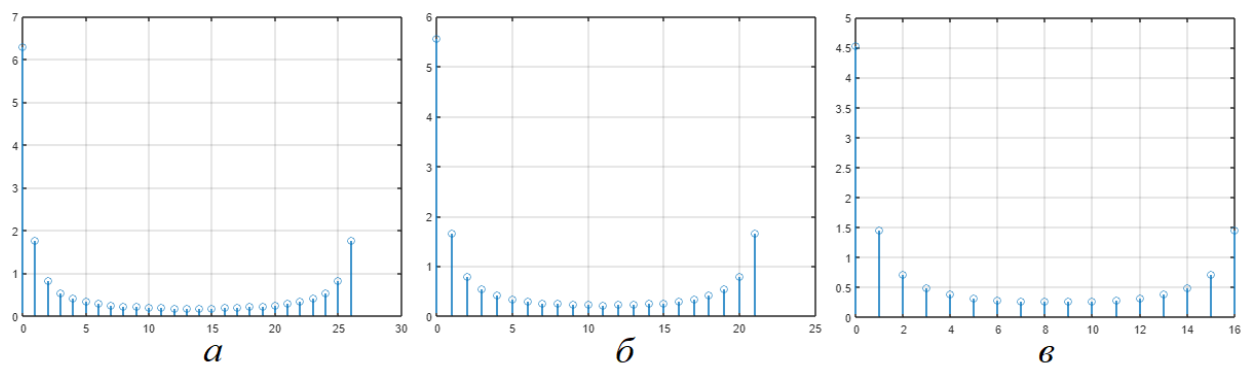


Рис. 4.24 – Спектр сигналу в середовищі Matlab: *а* – перший випадок; *б* – другий випадок; *в* – третій випадок

Для відновлення сигналу скористаємося алгоритмом оберненого ДПФ. Графіки відліків оберненого ДПФ в середовищі LabVIEW наведено на рис. 4.25 та на рис. 4.26 наведено графіки, отримані у середовищі програмування Matlab.

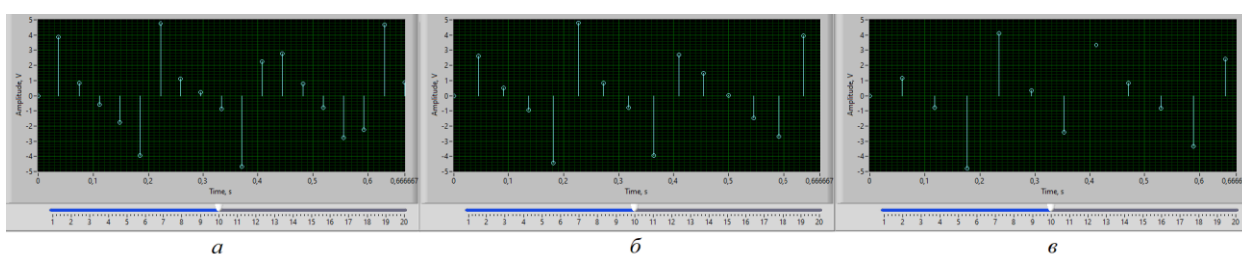


Рис. 4.25 – Відліки оберненого ДПФ: *а* – перший випадок; *б* – другий випадок; *в* – третій випадок

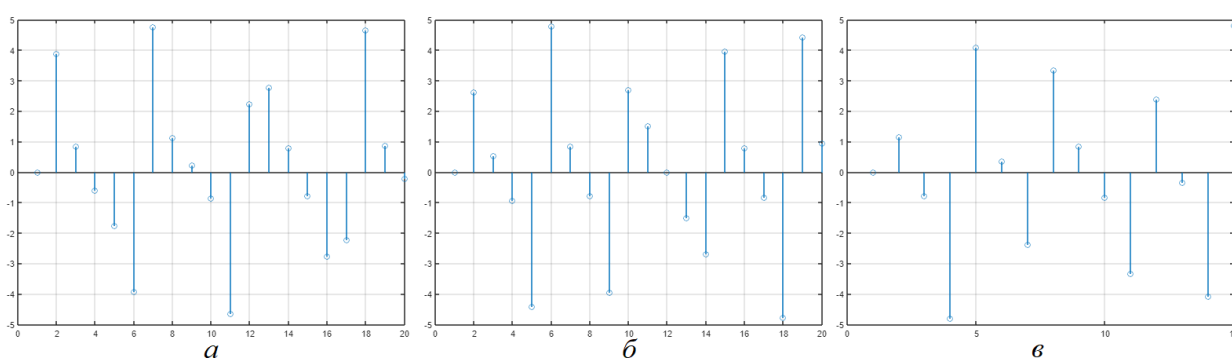


Рис. 4.26 – Відліки ОДПФ в середовищі Matlab: *а* – перший випадок; *б* – другий випадок; *в* – третій випадок

На основі отриманих відліків оберненого ДПФ відновимо сигнал. Графік відновленого сигналу в середовищі LabVIEW (рис. 4.27) та в середовищі програмування Matlab (рис. 4.28).

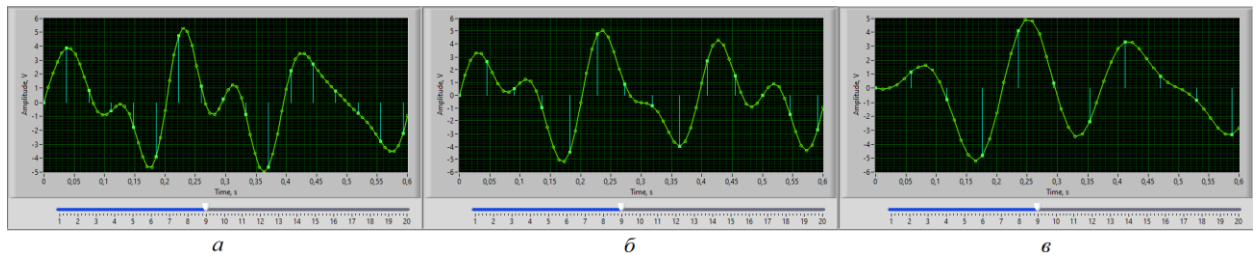


Рис. 4.27 – Відновлений сигнал: *а* – перший випадок; *б* – другий випадок; *в* – третій випадок

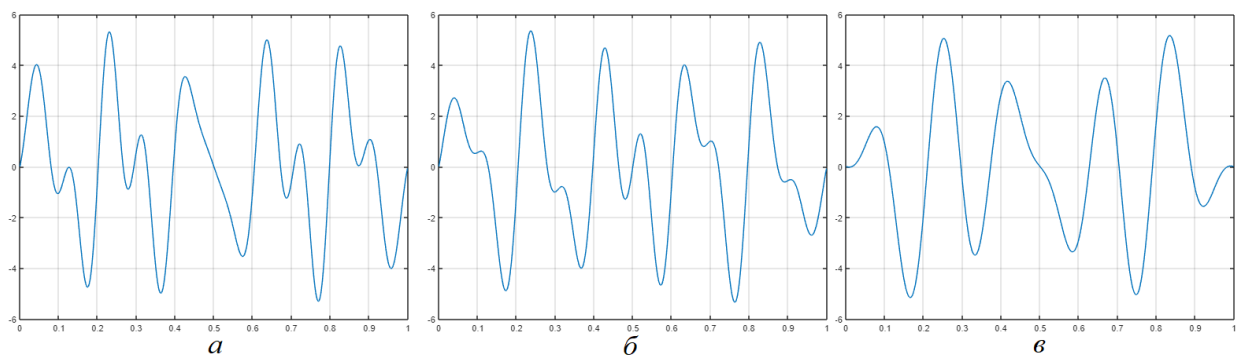


Рис. 4.28 – Відновлений сигнал в середовищі Matlab: *а* – перший випадок; *б* – другий випадок; *в* – третій випадок

Нижче наведено графіки різниці вхідного і відновленого сигналу в середовищі LabVIEW (рис. 4.29) та графіки спектру різниці вхідного і відновленого сигналу в середовищі LabVIEW (рис. 4.30).

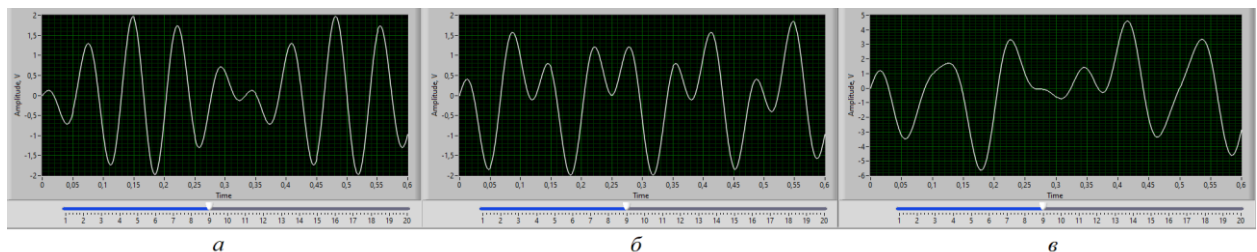


Рис. 4.29 – Різниця вхідного і відновленого сигналу: *а* – перший випадок; *б* – другий випадок; *в* – третій випадок

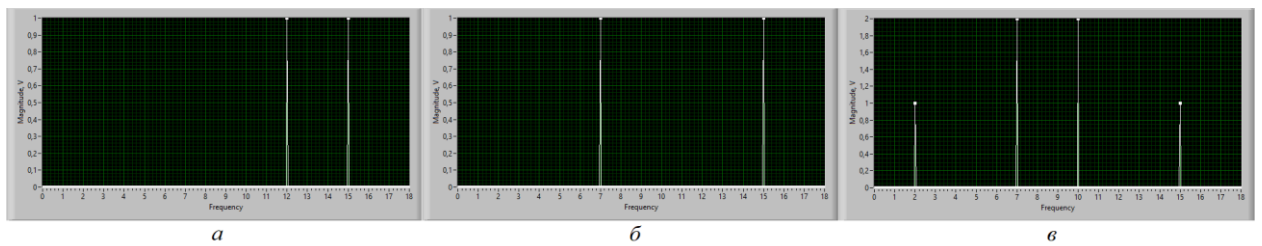


Рис. 4.30 – Спектр різниці вхідного і відновленого сигналу: *а* – перший випадок; *б* – другий випадок; *в* – третій випадок

При дискретизації на частоті нижче частоти Найквіста відновлений сигнал відрізняється від вхідного і їх різниця істотна у всіх випадках, отже, обраний алгоритм розрахунку частоти дискретизації не є коректним, тому що він призводить до неможливості адекватного відновлення сигналу і появи ефекту накладання спектрів.

Висновки до лабораторної роботи

При виконанні експериментальних досліджень на віртуальному приладі, розробленому в середовищі LabVIEW, була проведена дискретизація вхідного сигналу з частотою дискретизації рівній частоті Найквіста, вище і нижче частоти Найквіста. З наведених у звіті графіків видно, що при дискретизації сигналу з частотою вище частоти Найквіста відновлений сигнал практично не відрізняється від заданого і їх різниця мізерно мала, що проілюстровано на рисунках вище. При дискретизації на частоті Найквіста були отримані дещо гірші результати, так як в процесі дискретизації випала одна гармонійна складова, що видно на рисунках. Але відновлений сигнал близький до вхідного, що допускає дискретизацію на цій частоті. При дискретизації на частоті нижче частоти Найквіста відновлений сигнал відрізняється від вхідного і їх різниця істотна. Паралельно була зроблена дискретизація сигналу в середовищі Matlab, отримані результати збігаються з результатами отриманими на віртуальному приладі, що свідчить про достовірність отриманих результатів.

Висновки

Проаналізувавши отримані результати експериментальних досліджень можна зробити наступні висновки: практичні результати якісно підтверджують правильність математичної моделі, а застосований алгоритм для створення віртуального компоненту є адекватним, та може бути використаний для досліджень, або у навчальному процесі студентів.

Також порівнявши результати роботи віртуального приладу з програмою розробленою в середовищі програмування MATLAB, можна зробити висновок, що обраний алгоритм задовольняє поставленим технічним вимогам.

					BM61.050004.001	Арк.
						62
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

В дипломній роботі було створено програмно-методичний комплекс для дослідження ефекту накладання спектрів шляхом імітаційного моделювання. Віртуальний інструмент імітує за заданими вхідними даними користувача вихідний сигнал та наочно показує роботу алгоритму дискретного перетворення Фур'є сигналу та ефекту накладання спектрів.

Для повного опису програмно-методичного комплексу та розгляду його складових, було розроблено проект методичних вказівок для роботи з віртуальним приладом.

					BM61.050004.001	Арк.
						63
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Цифрова обробка аудіо- та відеоінформації у мультимедійних системах: Навчальний посібник / О.В. Дробик, В.В. Кідалов, В.В. Коваль, Б.Я. Костік, В.С. Лазебний, Г.М. Розорінов, Г.О. Сукач. – К.: Наукова думка, 2008.
2. Андрищенко О. А. Основи автоматизованого проектування електромеханічних пристроїв і електромеханічних систем: конспект лекцій. Одеса: ОНПУ, 2011.
3. Айфичер Э. Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. – Москва: "Вильямс", 2004 г.
4. Склад Б. Цифровий зв'язок. Теоретичні основи і практичне застосування. Пер. з англ. — М.: Видавничий дім «Вільямс», 2003, 1104 с., Стор.33, ISBN 5-8459-0497
5. Федосов В. П., Нестеренко А. К. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW: учеб. пособие / под ред. В. П. Федосова. – М.: ДМК Пресс, 2007.
6. Ричард Лайонс. Цифровая обработка сигналов. — 2-е. — Москва : Бином, 2006. — 656 с. — ISBN 5-9518-0149-4.
7. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. — 2-е. — Спб : Питер, 2006. — 751 с. — ISBN 5-318-00666-3.
8. Солонина А. И., Клионский Д. М., Меркучева Т. В., Перов С. Н., Цифровая обработка сигналов и MATLAB, 2013 г.

ВІДГУК
керівника дипломної роботи
на здобуття ступеня бакалавра

виконаної на тему: Віртуальний тренажер для вивчення ефекту накладання спектрів
студенткою Мошкун Мар'яною Ігорівною

Головна ціль дипломної роботи полягає в розробці програмно-методичного комплексу для дослідження ефекту накладання спектрів, який наочно показує алгоритм дискретного перетворення Фур'є сигналу та ефект аліасинга.

Унікальність віртуального приладу розробленого методом імітаційного моделювання за допомогою графічного редактора Labview полягає в наочності результатів вимірювання та зручному інтерфейсі користувача. За рахунок високого рівня візуалізації та наглядності можна більш адекватно оцінювати результати експерименту.

Актуальність роботи полягає в необхідності застосуванні сучасних технологій аналізу сигналів для виявлення закономірностей, обумовлених вибором частоти дискретизації при дослідженні спектру сигналу.

В ході роботи безпосередньо студентом розроблено код в середовищі MatLab для перевірки обраного алгоритму імітаційного моделювання та оцінки адекватності отриманих експериментальних результатів.

Студентом проявлені уміння проводити математичне і імітаційне моделювання, опрацьовувати та аналізувати результати безпосередньо проведених експериментальних досліджень.

Найбільш важливими практичним результатом є розроблений програмно-методичний комплекс може бути застосований в навчальному процесі студентів спеціальності “Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка”, а саме як лабораторна робота курсу “Цифрова обробка сигналів”.

Вважаю, що дипломна робота студентки Мошкун Мар'яни Ігорівни відповідає якості підготовки дипломника вимогам стандарту вищої освіти.

Присудити Мошкун М. І. ступінь бакалавра і присвоїти кваліфікацію бакалавр з метрології та інформаційно-вимірювальної техніки за напрямом підготовки 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Керівник
дипломної роботи
доцент кафедри ІВТ, к.т.н., доцент

Валентин СИНИЦЯ

РЕЦЕНЗІЯ

**керівника дипломної роботи
на здобуття ступеня бакалавра
виконаної на тему: «Віртуальний тренажер для вивчення ефекту
накладання спектрів»
студенткою Мошкун Мар'яною Ігорівною**

Дипломна робота «Віртуальний тренажер для вивчення ефекту накладання спектрів» відповідає завданню на дипломне проектування.

Актуальність роботи полягає в необхідності застосуванні сучасних технологій аналізу сигналів для виявлення закономірностей, обумовлених вибором частоти дискретизації при дослідженні спектру сигналу.

Дипломна робота є реальною, відповідає науковій тематиці кафедри інформаційно-вимірювальних технологій.

В дипломній роботі досить ґрунтовно обумовлено прийняте рішення по використанню методу імітаційного моделювання за допомогою графічного редактора Labview. За рахунок високого рівня візуалізації та наочності можна оцінити результати експерименту і правильність вибраного алгоритму.

Розробка програмного забезпечення супроводжувалась правильною розробкою математичних моделей алгоритмів розрахунку дискретного перетворення Фур'є, що підтверджується результатами експериментальних досліджень, які проведені в достатньому обсязі.

Графічна та текстова документація дипломної роботи виконана з використанням сучасних комп'ютерних технологій та відповідає вимогам ЄСКД.

Важливим практичним результатом є розроблений програмно-методичний комплекс, що може бути застосований в навчальному процесі студентів спеціальності “Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка”, а саме як лабораторна робота курсу “Цифрова обробка сигналів”.

Явних недоліків дипломної роботи не виявлено. Вважаю, що дипломна робота «Віртуальний тренажер для вивчення ефекту накладання спектрів» заслуговує відмінної оцінки.

Присудити Мошкун М. І. ступінь бакалавра і присвоїти кваліфікацію бакалавр з метрології та інформаційно-вимірювальної техніки за напрямом підготовки 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Рецензент
доцент кафедри ІВТ, к.т.н., доцент

Олексій СТАЦЕНКО